

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

I, Susan POTTS BA ACIS,

Director of RWS Group plc, of Europa House, Marsham Way, Gerrards Cross, Buckinghamshire, England declare;

1. That I am a citizen of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland.
2. That the translator responsible for the attached translation is well acquainted with the German and English languages.
3. That the attached is, to the best of RWS Group plc knowledge and belief, a true translation into the English language of the accompanying copy of the specification filed with the application for a patent in Germany on September 20, 1996 under the number 196 38 667.5 and the official certificate attached hereto.
4. That I believe that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and that such willful false statements may jeopardize the validity of the patent application in the United States of America or any patent issuing thereon.



For and on behalf of RWS Group plc
The 10th day of November 2000

FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

[Eagle crest]

**Priority Certificate
for the filing of a Patent Application**

File Reference: 196 38 667.5

Filing date: 20 September 1996

Applicant/Proprietor: Osram Opto Semiconductors GmbH & Co oHG,
Regensburg/DE

First applicant: Siemens Aktiengesellschaft,
Munich/DE

Title: Semiconductor device radiating mixed-coloured light and having a
luminescence conversion element

IPC: H 01 L, G 02 F, F 21 K

**The attached documents are a correct and accurate reproduction of the original
submission for this Application.**

Munich, 8 November 2000

German Patent and Trademark Office

The President

[Seal of the German Patent
and Trademark Office]

pp

[signature]

Seiler

Description

Semiconductor device radiating mixed-coloured light and having a luminescence conversion element

5

The invention relates to a semiconductor device radiating mixed-coloured light, in particular white light.

In many potential areas of application for 10 light-emitting diodes, such as for example in the case of display elements in a motor-vehicle dashboard, illumination in aircraft and cars and in the case of full-colour LED displays, the requirement for arrangements of light-emitting diodes with which mixed-coloured light, in particular white light, can be produced is increasingly occurring. So far, white "LED" light can be produced only with so-called multi-LEDs, in which three differently coloured light-emitting diodes (generally one red, one green and one blue) or 15 two light-emitting diodes of complementary colours (for example one blue and one yellow) are used. In addition to increased assembly outlay, complex driving electronics are also required for such multi-LEDs, since the various types of diode require different 20 driving voltages. In addition, the long-term stability with regard to wavelength and intensity is adversely affected by different ageing effects of the various light-emitting diodes and also on account of the different driving voltages and the resultant different 25 operating currents. An additional disadvantage of the multi-LEDs is that component miniaturization is greatly 30 restricted.

The object of the present invention is to develop a semiconductor device of the type stated at 35 the beginning with which mixed-coloured light, in particular white light, can be produced in a technically simple way with as little component outlay as possible.

This object is achieved by a semiconductor

device according to Claim 1. Advantageous developments of the invention are the subject of Subclaims 2 to 30. Subclaims 31 to 34 specify preferred possibilities for use of the semiconductor device according to the invention.

According to the invention, a radiation-emitting semiconductor body is provided with at least one first electrical terminal and at least one second electrical terminal, which are connected to the semiconductor body in an electrically conducting manner and are assigned a luminescence conversion element. The semiconductor body has a sequence of layers which emit an electromagnetic radiation with wavelengths of $\lambda \leq 520$ nm. It has in particular a sequence of layers with an active layer of $Ga_xIn_{1-x}N$ or $Ga_xAl_{1-x}N$. The luminescence conversion element converts radiation of a first spectral subrange of the radiation emitted by the semiconductor body, originating from a first wavelength range, into radiation of a second wavelength range in such a way that the semiconductor device emits radiation from at least one second spectral subrange of the first wavelength range and radiation of the second wavelength range. For this purpose, the luminescence conversion element is provided with at least one inorganic luminescent material, in particular with a phosphor. That is to say, for example, that the luminescence conversion element spectrally selectively absorbs part of a radiation emitted by the semiconductor body and emits it in the longer-wave range (in the second wavelength range). Ideally, the radiation emitted by the semiconductor body has an intensity maximum at a wavelength of $\lambda \leq 520$ nm.

In an advantageous development of the semiconductor device according to the invention, the luminescence conversion element consists at least partially of a transparent epoxy resin, which is provided with the inorganic luminescent material. This is because inorganic luminescent materials, in particular phosphors such as YAG:Ce ($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$), for

example, can be advantageously incorporated into epoxy resin in a simple way. Furthermore, further garnets doped with rare earths such as $Y_3Ga_5O_{12}:Ce^{3+}$, $Y(Al,Ga)_5O_{12}:Ce^{3+}$ and $Y(Al,Ga)_5O_{12}:Tb^{3+}$, for example, and 5 also alkaline earth sulphides doped with rare earths such as $SrS:Ce^{3+},Na$, $SrS:Ce^{3+},Cl$, $SrS:CeCl_3$, $CaS:Ce^{3+}$ and $SrSe:Ce^{3+}$, for example, are suitable as luminescent materials.

Also suitable for producing mixed-coloured 10 light are thiogallates such as $CaGa_2S_4:Ce^{3+}$ and $SrGa_2S_4:Ce^{3+}$, for example, and also aluminates doped with rare earths such as $YAlO_3:Ce^{3+}$, $YGaO_3:Ce^{3+}$, $Y(Al,Ga)O_3:Ce^{3+}$, for example, and orthosilicates doped with rare earths $M_2SiO_5:Ce^{3+}$ ($M: Sc, Y, Sc$), such as 15 $Y_2SiO_5:Ce^{3+}$, for example. In the case of all yttrium compounds, the yttrium can in principle also be substituted by scandium or lanthanum.

Similarly, in the case of the semiconductor device according to the invention, a number (one or 20 more) of first spectral subranges originating from the first wavelength range can advantageously be converted into a plurality of second wavelength ranges. This makes it advantageously possible to produce a variety of colour mixtures and colour temperatures.

The semiconductor device according to the 25 invention has the particular advantage that the wavelength spectrum produced by luminescence conversion, and consequently the colour of the light radiated, does not depend on the level of the operating current intensity through the semiconductor body. This 30 is of great significance in particular whenever the ambient temperature of the semiconductor device fluctuates greatly, and, as is known, consequently so too does the operating current intensity. Particularly 35 light-emitting diodes with a semiconductor body based on GaN are very sensitive in this respect.

In contrast with the multi-LEDs mentioned at the beginning, the semiconductor device according to the invention also requires only a single driving

voltage, and consequently also only a single driving circuit arrangement, whereby the component outlay can be kept very low.

In a particularly preferred embodiment of the invention, a partly transparent luminescence conversion layer, i.e. a luminescence conversion layer which is partially transparent to the radiation emitted by the radiation-emitting semiconductor body, is provided as the luminescence conversion element over or on the semiconductor body. To ensure a uniform colour of the light radiated, the luminescence conversion layer is advantageously formed in such a way that it has a constant thickness throughout. One particular advantage of a semiconductor device according to the invention as provided in this development is that high reproducibility can be achieved in a simple way, which is of major significance for efficient mass production. A lacquer or synthetic resin coating mixed with inorganic luminescent material, for example, may be provided as the luminescence conversion layer.

Another preferred embodiment of the semiconductor device according to the invention has a partly transparent luminescence conversion sheathing as the luminescence conversion element, said sheathing enclosing at least part of the semiconductor body (and possibly subregions of the electrical terminals) and being able to be used at the same time as a component sheathing (housing). The advantage of a semiconductor device according to this embodiment is essentially that conventional production lines used for the production of conventional light-emitting diodes (for example radial light-emitting diodes) can be used for its production. Instead of the transparent plastic used for this purpose in the case of conventional light-emitting diodes, the material of the luminescence conversion sheathing is used for the component sheathing.

In advantageous embodiments of the semiconductor device according to the invention and the two preferred embodiments mentioned above, the

luminescence conversion layer or the luminescence conversion sheathing consists of a transparent material (for example plastic (such as epoxy resin)), which is provided with at least one inorganic dye (examples of suitable plastics are given further below). In this way, luminescence conversion elements can be produced at particularly low cost. This is because the process steps necessary for this purpose can be integrated into conventional production lines for light-emitting diodes without any great outlay.

In a particularly preferred development of the invention or of the embodiments mentioned above, it is provided that the second wavelength range or ranges has or have at least partly greater wavelengths than the first wavelength range.

In particular, it is provided that a second spectral subrange of the first wavelength range and a second wavelength range are complementary to one another. In this way, mixed-coloured light, in particular white light, can be produced from a single coloured light source, in particular a light-emitting diode with a single blue or green light. In order for example to produce white light by a semiconductor body emitting blue light, part of the spectral range emitted by the semiconductor body is converted into a yellow spectral range. The colour temperature of the white light can in this case be varied by suitable choice of the inorganic luminescent material and suitable formation of the luminescence conversion element (for example with regard to layer thickness and concentration of the luminescent material). In addition, these arrangements advantageously also offer the possibility of using mixtures of luminescent materials, advantageously allowing the desired hue to be set very exactly.

Similarly, luminescence conversion elements may be made to be of an inhomogeneous form, for example by means of an inhomogeneous distribution of luminescent material. In this way it is possible to compensate for

different path lengths of the light through the luminescence conversion element.

In a further preferred embodiment of the semiconductor device according to the invention, the 5 luminescence conversion element or another constituent part of a component sheathing has one or more dyes for colour adaptation, which do not bring about any wavelength conversion. For this purpose, the dyes used for the production of conventional light-emitting 10 diodes, such as azo, anthraquinone or perinone dyes, for example, can be used in the conventional way.

In an advantageous development of the semiconductor device according to the invention, at least part of the surface of the semiconductor body is 15 surrounded by a first transparent sheathing, for example consisting of a plastic, to which the luminescence conversion layer is applied. As a result, the radiation density in the luminescence conversion element, and consequently its radiation load, is 20 reduced, which has positive effects on the service life of the luminescence conversion element, depending on the materials used.

In a particularly preferred configuration of the invention and of the embodiments mentioned above, a 25 semiconductor body, for example a light-emitting diode or a laser diode, in which the emitted radiation spectrum has an intensity maximum at a wavelength of between 420 nm and 460 nm, in particular at 430 nm (for example a semiconductor body based on $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$) or 30 450 nm (for example a semiconductor body based on $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$), is used. With a semiconductor device of this type according to the invention, virtually all colours and mixed colours of the CIE chromaticity diagram can be advantageously produced.

35 In a further particularly preferred development of the invention and its embodiments, the luminescence conversion sheathing or the luminescence conversion layer is produced from a lacquer or a plastic, such as the silicone, thermoplastic or thermosetting plastic

materials (epoxy and acrylic resins) used for the sheathing of optoelectronic components, for example. Furthermore, covering elements produced for example from thermoplastic materials may be used as the 5 luminescence conversion layer. All the materials mentioned above can be mixed in a simple way with one or more inorganic luminescent materials.

A semiconductor device according to the invention can be advantageously realized in a particularly simple way if, according to a preferred development, the semiconductor body is arranged in a recess of a possibly prefabricated housing and the recess is provided with a covering element having the luminescence conversion layer. A semiconductor device 10 of this type can be produced in large numbers on conventional production lines. For this purpose, all that is necessary after fitting the semiconductor body into the housing is to apply the covering element, for example a lacquer or casting resin layer or a 15 prefabricated covering plate of thermoplastic material, to the housing. The recess of the housing may be optionally filled with a transparent material, for example a transparent plastic, which for example does not change the wavelength of the light emitted by the 20 semiconductor body or else, if desired, may already be of a luminescence-converting form. In the latter case, 25 the covering element may also be omitted.

Advantageous materials for producing the luminescence conversion layer or luminescence 30 conversion sheathing mentioned above are, for example, polymethylmethacrylate (PMMA) or epoxy resin to which one or more inorganic luminescent materials has or have been added.

In a particularly preferred embodiment of the 35 semiconductor device according to the invention, at least all the transilluminated components of the sheathing, i.e. also the luminescence conversion sheathing or layer, consist of purely inorganic materials. The luminescence conversion element

consequently consists of an inorganic luminescent material, which is embedded in a thermally stable, transparent or partly transparent inorganic material. In particular, the luminescence conversion element 5 consists of an inorganic phosphor, which is embedded in an advantageously low-melting inorganic glass (for example silicate glass). A preferred method of production for a luminescence conversion layer of this type is the sol-gel technique, with which the entire 10 luminescence conversion layer, i.e. both the inorganic luminescent material and the embedding material, can be produced in one operation.

To improve the intermixing of the radiation of the first wavelength range emitted by the semiconductor body with the luminescence-converted radiation of the second wavelength range, and consequently the colour constancy of the light radiated, in an advantageous configuration of the semiconductor device according to the invention a dye which is luminescent in the blue range is additionally added to the luminescent sheathing or the luminescence conversion layer and/or another component of the component sheathing, said dye attenuating a so-called directional characteristic of the radiation radiated by the semiconductor body. A 25 directional characteristic is to be understood as meaning that the radiation emitted by the semiconductor body has a preferred direction of radiation.

In another advantageous configuration of the semiconductor device according to the invention, a powdered inorganic luminescent material which does not dissolve in the substance (matrix) sheathing is used 30 for this purpose. In addition, the inorganic luminescent material and the substance sheathing it have refractive indices which differ from one another. This advantageously leads to a proportion of the light 35 not absorbed by the luminescent material being scattered, dependent on the grain size of the luminescent material. As a result, the directional characteristic of the radiation radiated by the

semiconductor body is efficiently attenuated, so that the radiation not absorbed and the luminescence-converted radiation are homogeneously mixed, which leads to a spatially homogeneous colour impression.

- 5 This is the case, for example, if YAG:Ce with a grain size of 4 µm - 13 µm is embedded in epoxy resin.

A semiconductor device according to the invention, radiating white light, can be realized for example by admixing the inorganic luminescent material

- 10 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ with an epoxy resin used for producing the luminescence conversion sheathing or layer. Part of a blue radiation emitted by the semiconductor body is shifted by the inorganic luminescent material $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ into the yellow spectral range and
15 consequently into a complementary wavelength range. The hue (colour point in the CIE chromaticity diagram) of the white light can in this case be varied by suitable choice of the dye mixture and concentration.

- The inorganic luminescent material YAG:Ce has,
20 inter alia, the particular advantage that non-soluble colour pigments (particle size for example 10 µm) with a refractive index of approximately 1.84 are concerned here. As a result, in addition to the wavelength conversion, a scattering effect also occurs, leading to
25 good mixing of blue diode radiation and yellow converter radiation.

- In a further preferred development of a semiconductor device according to the invention or of the advantageous embodiments specified above, light-scattering particles, so-called diffusers, are
30 additionally added to the luminescence conversion element or to another radiation-transparent component of the component sheathing. This advantageously allows the colour impression and the radiation characteristic
35 of the semiconductor device to be further optimized.

It is of particular advantage that the light-emitting efficiency of white-glowing semiconductor devices according to the invention or their embodiments mentioned above is increased considerably in comparison

with the light-emitting efficiency of an incandescent bulb by a blue-glowing semiconductor body produced on the basis of GaN. The reason for this is, on the one hand, that the external quantum yield of semiconductor bodies of this type is around several per cent and on the other hand the luminescence yield of inorganic luminescent materials is often over 90%. In addition, the semiconductor device according to the invention is distinguished in comparison with the incandescent bulb by an extremely long service life, greater robustness and a lower operating voltage.

It is also advantageous that the brightness of the semiconductor device according to the invention that is perceptible to the human eye can be distinctly increased in comparison with a semiconductor device which is not equipped with a luminescence conversion element but is otherwise identical, since the sensitivity of the eye increases towards a higher wavelength. In addition, ultraviolet light can also be converted into visible light.

The concept presented here of the luminescence conversion with blue light of a semiconductor body can also be advantageously extended to multi-stage luminescent conversion elements, on the basis of ultraviolet → blue → green → yellow → red. In this case, a plurality of differently spectrally selectively emitting luminescence conversion elements are arranged one behind the other in relation to the semiconductor body.

Similarly, a plurality of differently spectrally selectively emitting inorganic luminescent materials may advantageously be embedded together into a transparent plastic of a luminescence conversion element. In this way, a very wide colour spectrum can be produced.

Semiconductor devices according to the invention can be used particularly advantageously according to the present invention for example in full-colour LED display devices (displays) or for

illuminating purposes in aircraft, motor vehicles etc.

One particular advantage of semiconductor elements according to the invention transmitting white light and based on Ce-doped phosphors, in particular Ce-doped garnets such as YAG:Ce, for example, as the luminescent material, is that, when excited with blue light, these luminescent materials bring about a spectral shift of approximately 100 nm between absorption and emission. This leads to a significant reduction in the reabsorption of the light emitted by the luminescent material and consequently to a higher light yield. Furthermore, inorganic luminescent materials of this type advantageously have generally a high thermal and photochemical (for example UV) stability (significantly higher than organic luminescent materials), so that white-glowing diodes can also be produced for outdoor use and/or high temperature ranges.

In particular on account of their low power consumption, semiconductor devices according to the invention can be used particularly advantageously in full-colour LED displays, for illuminating interior compartments of motor vehicles or aircraft cabins and for illuminating display devices such as motor-vehicle dashboards or liquid-crystal displays.

Further features, advantages and expedient refinements of the invention emerge from the following description of nine exemplary embodiments in conjunction with Figures 1 to 12, in which:

Figure 1 shows a schematic sectional view through a first exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention;

Figure 2 shows a schematic sectional view of a second exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention;

Figure 3 shows a schematic sectional view of a third exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention;

Figure 4 shows a schematic sectional view of a

fourth exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention;

5 Figure 5 shows a schematic sectional view of a fifth exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention;

Figure 6 shows a schematic sectional view of a sixth exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention;

10 Figure 7 shows a schematic representation of an emission spectrum of a semiconductor body which emits blue light and has a sequence of layers based on GaN;

Figure 8 shows a schematic representation of the emission spectra of semiconductor devices according to the invention which radiate white light;

15 Figure 9 shows a schematic sectional representation through a semiconductor body which emits blue light;

Figure 10 shows a schematic sectional view of a seventh exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention;

Figure 11 shows a schematic side view of an eighth exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention and

25 Figure 12 shows a schematic side view of a ninth exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention.

In the various figures, parts which are the same or have the same effect are respectively always provided with the same reference numerals.

30 In the case of the light-emitting semiconductor device represented in Figure 1, a semiconductor body 1, for example a light-emitting diode or a laser diode, has a rear-side contact 11, a front-side contact 12 and a sequence of layers 7 which are composed of a number 35 of different layers and have at least one active zone emitting a radiation (for example ultraviolet, blue or green radiation).

An example of a suitable sequence of layers 7 for this and all the exemplary embodiments described

below is shown in Figure 9. In this case, a sequence of layers comprising an AlN or GaN layer 19, an n-conducting GaN layer 20, an n-conducting $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ or $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ layer 21, a further n-conducting GaN or 5 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ layer 22, a p-conducting $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ or $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ layer 23 and a p-conducting GaN layer 24 is applied to a substrate 18, which consists for example of SiC. Respectively applied to a main surface 25 of the p-conducting GaN layer 24 and a main surface 26 of the 10 substrate 18 is a contact metallization 27, 28, which consists of a material conventionally used in semiconductor technology for electrical contacts.

However, any other semiconductor body that appears suitable to a person skilled in the art for the 15 semiconductor device according to the invention may also be used. This similarly applies to all the exemplary embodiments described below.

In the exemplary embodiment of Figure 1, the semiconductor body 1 is fastened by its rear-side 20 contact 11 on a first electrical terminal 2 by means of an electrically conducting connecting means, for example a metallic solder or an adhesive. The front-side contact 12 is connected to a second electrical terminal 3 by means of a bonding wire 14.

The semiconductor body 1 and subregions of the 25 electrical terminals 2 and 3 are directly enclosed by a luminescence conversion sheathing 5. This consists for example of a transparent plastic which can be used for transparent light-emitting diode sheathings (for 30 example epoxy resin or polymethylmethacrylate) or a low-melting inorganic glass, to which an inorganic luminescent material 6, for example $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}\text{Y}$ (YAG:Ce) for a semiconductor device radiating white light, is admixed.

The exemplary embodiment represented in Figure 35 2 of a semiconductor device according to the invention differs from that of Figure 1 in that the semiconductor body 1 and subregions of the electrical terminals 2 and 3 are enclosed by a transparent sheathing 15 instead of

by a luminescence conversion sheathing. This transparent sheathing 15 does not bring about any change in wavelength of a radiation emitted by the semiconductor body 1 and consists for example of an 5 epoxy, silicone or acrylic resin conventionally used in light-emitting diode technology or of some other suitable radiation-transparent material, such as inorganic glass for example.

Applied to this transparent sheathing 15 is a 10 luminescence conversion layer 4 which, as represented in Figure 2, covers the entire surface of the sheathing 15. It is similarly conceivable for the luminescence conversion layer 4 to cover only a subregion of the surface. The luminescence conversion layer 4 in turn 15 consists for example of a transparent plastic (for example epoxy resin, lacquer or polymethylmethacrylate) or of an inorganic glass, to which an inorganic luminescent material 6 is added. Here, too, YAG:Ce, for example, is suitable as the luminescent material 20 for a white-glowing semiconductor device.

This exemplary embodiment has the particular advantage that the path length through the luminescence conversion element is approximately of the same magnitude for the entire radiation emitted by the 25 semiconductor body. This plays a significant part in particular whenever, as is often the case, the exact hue of the light radiated by the semiconductor device depends on this path length.

For better coupling-out of the light from the 30 luminescence conversion layer 4 from Figure 2, a lenticular covering 29 (depicted by dashed lines), which reduces a total reflection of the radiation within the luminescence conversion layer 4, may be provided on one side face of the device. This 35 lenticular covering 29 may consist of transparent plastic or glass and for example be adhesively attached to the luminescence conversion layer 4 or formed directly as a constituent part of the luminescence conversion layer 4.

In the exemplary embodiment represented in Figure 3, the first and second electrical terminals 2, 3 are embedded in an opaque, possibly prefabricated, basic housing 8 with a recess 9. "Prefabricated" is to 5 be understood as meaning that the basic housing 8 is already finished at the terminals 2, 3, for example by means of injection moulding, before the semiconductor body is fitted onto the first terminal 2. The basic 10 housing 8 consists for example of an opaque plastic and the recess 9 is formed as a reflector 17 (possibly by suitable coating of the inside walls of the recess 9). Such basic housings 8 have long been used in particular 15 in the case of surface-mountable light-emitting diodes (SMD-TOPLEDs) and are therefore not explained in any further detail at this point. They are applied to a leadframe having the electrical terminals 2, 3 before the semiconductor bodies are fitted.

The recess 9 is covered by a luminescence conversion layer 4, for example a covering plate 17 20 made of plastic and separately produced and fastened on the basic housing 8. The plastics or inorganic glass mentioned further above in the general part of the description, in conjunction with the inorganic luminescent materials mentioned there, in turn come 25 into consideration as suitable materials for the luminescence conversion layer 4. The recess 9 may both be filled with a transparent plastic, with an inorganic glass or with gas and be provided with a vacuum.

As in the exemplary embodiment according to 30 Figure 2, here, too, for better coupling-out of the light from the luminescence conversion layer 4, a lenticular covering 29 (depicted by dashed lines), which reduces a total reflection of the radiation 35 within the luminescence conversion layer 4, may be provided on the latter. This covering 29 may in turn consist of transparent plastic or of inorganic glass and for example be adhesively attached to the luminescence conversion layer 4 or be formed in one piece together with the luminescence conversion

layer 4.

It is similarly possible, as shown in Figure 10, for the recess 9 to be filled with a plastic or glass provided with an inorganic luminescent material 6, i.e. with a luminescence sheathing 5, which forms the luminescence conversion element. A covering plate 17 and/or a lenticular covering 29 can then also be omitted. Furthermore, it is optional, as represented in Figure 11, for the first electrical terminal 2 to be formed as a reflector trough 34, for example by stamping, in the region of the semiconductor body 1, said trough being filled with a luminescence conversion sheathing 5.

In Figure 4, a so-called radial diode is represented as a further exemplary embodiment. In this case, the semiconductor body 1 is fastened, for example by means of soldering or adhesive bonding, in a part 16, designed as a reflector, of the first electrical terminal 2. Housing designs of this type are also well known from light-emitting diode technology and therefore do not require any further explanation.

In the exemplary embodiment of Figure 4, the semiconductor body 1 is surrounded by a transparent sheathing 15, which, as in the second-mentioned exemplary embodiment (Figure 2), does not bring about any change in wavelength of the radiation emitted by the semiconductor body 1 and may consist, for example, of a transparent epoxy resin conventionally used in light-emitting diode technology or of an inorganic glass.

A luminescence conversion layer 4 is applied to this transparent sheathing 15. The plastics specified in connection with the previously mentioned exemplary embodiments or inorganic glass in conjunction with the above luminescent materials in turn come into consideration for example as the material for this.

The complete construction, comprising semiconductor body 1, subregions of the electrical terminals 2, 3, transparent sheathing 15 and

luminescence conversion layer 4, is enclosed by a further transparent sheathing 10, which does not bring about any change in wavelength of the radiation passing through the luminescence conversion layer 4. It in turn 5 consists for example of a transparent epoxy resin conventionally used in light-emitting diode technology or of glass.

The exemplary embodiment shown in Figure 5 differs from that of Figure 4 in particular in that the 10 free surfaces of the semiconductor body 1 are covered directly by a luminescence conversion sheathing 5, which in turn is surrounded by a further transparent sheathing 10. Also represented, by way of example, in Figure 5 is a semiconductor body 1 in which, instead of 15 the rear-side contact 11, a further contact is applied on the semiconductor sequence of layers 7 and is connected to the associated electrical terminal 2 or 3 by means of a second bonding wire 14. It goes without saying that semiconductor bodies 1 of this type can 20 also be used in all the other exemplary embodiments described here. Conversely, a semiconductor body 1 according to the aforementioned exemplary embodiments can of course also be used in the exemplary embodiment of Figure 5.

For the sake of completeness, it should be noted at this point that it goes without saying that, by analogy with the exemplary embodiment according to Figure 1, a one-piece luminescence conversion sheathing 5 may also be used in the case of the design according 30 to Figure 5, then taking the place of the combination of luminescence conversion sheathing 5 and further transparent sheathing 10.

In the exemplary embodiment of Figure 6, a luminescence conversion layer 4 (possible materials as 35 specified above) is applied directly to the semiconductor body 1. This and subregions of the electrical terminals 2, 3 are enclosed by a further transparent sheathing 10, which does not bring about any change in wavelength of the radiation passing

through the luminescence conversion layer 4 and is produced for example from a transparent epoxy resin which can be used in light-emitting diode technology or from glass.

Such semiconductor bodies 1 provided with a luminescence conversion layer 4 and without sheathing may of course be used advantageously in all the designs of housing known from light-emitting diode technology (for example SMD housings, radial housings (compare Figure 5)).

In the exemplary embodiment of a semiconductor device according to the invention represented in Figure 12, a transparent trough part 35, which has a trough 36 over the semiconductor body 1, is arranged on the semiconductor body 1. The trough part 35 consists for example of transparent epoxy resin or of inorganic glass and is produced for example by means of encapsulation of the electrical terminals 2, 3, including semiconductor body 1. Arranged in this trough 36 is a luminescence conversion layer 4, which for example is produced in turn from epoxy resin or inorganic glass, into which particles 37, comprising one of the inorganic luminescent materials mentioned above, are incorporated. In the case of this design, it is advantageously ensured in a very simple way that the luminescent material accumulates during the production of the semiconductor device at unintended locations, for example next to the semiconductor body. It goes without saying that the trough part 35 may also be produced separately and be fastened over the semiconductor body 1 in some other way, for example on a part of the housing.

In all of the exemplary embodiments described above, the luminescence conversion element (luminescence conversion sheathing 5 or luminescence conversion layer 4), possibly the transparent sheathing 15, and/or possibly the further transparent sheathing 10, may have light-scattering particles, so-called diffusers, for optimizing the colour impression of the

light transmitted and for adapting the transmission characteristic. Examples of diffusers of this type are mineral fillers, for example CaF_2 , TiO_2 , SiO_2 , CaCO_3 or BaSO_4 or else organic pigments. These materials can be
5 added in a simple way to the sheathing materials or layer materials mentioned above.

Shown in Figures 7 and 8 are emission spectra of a semiconductor body radiating blue light (Figure 7) (maximum luminescence at $\lambda \sim 430$ nm) and of white-glowing semiconductor devices according to the
10 invention (Figure 8), which are produced by means of such semiconductor bodies. Plotted on the x-axis is the wavelength λ in nm and plotted on the y-axis is a relative intensity of the radiation emitted.

15 Of the radiation emitted by the semiconductor body according to Figure 7, only part is converted into a longer-wave wavelength range, so that white light is produced as the mixed colour. The variously dashed lines 30 to 33 of Figure 8 represent emission spectra
20 of semiconductor devices according to the invention in the form of radial diodes, in which the luminescence conversion element, in this case a luminescence conversion sheathing of epoxy resin, has different YAG:Ce concentrations. Each emission spectrum
25 respectively has an intensity maximum between $\lambda = 420$ nm and $\lambda = 430$ nm, that is in the blue spectral range, and between $\lambda = 520$ nm and $\lambda = 545$ nm, that is in the green spectral range, the emission bands with the longer-wave intensity maximum lying largely in the
30 yellow spectral range. The diagram of Figure 8 illustrates that, in the case of the semiconductor device according to the invention, the CIE colour point of white light can be changed in a simple way by changing the concentration of luminescent material in
35 the epoxy resin.

It is also possible to apply inorganic luminescent materials based on Ce-doped garnets, thiogallates, alkaline earth sulphides and aluminates directly to the semiconductor body, without dispersing

them in epoxy resin or glass.

A further particular advantage of the inorganic luminescent materials mentioned above arises from the fact that the concentration of luminescent material,
5 for example in the epoxy resin, is not restricted by the solubility, as in the case of organic dyes. As a result, great thicknesses of luminescence conversion elements are not necessary.

Patent Claims

1. Semiconductor device radiating mixed-coloured light and having a radiation-emitting semiconductor body (1), with at least a first and a second electrical terminal (2, 3), which are connected to the semiconductor body (1) in an electrically conducting manner, and with a luminescence conversion element (4, 5), in which device the semiconductor body (1) has a sequence of semiconductor layers (7) which emits an electromagnetic radiation at a wavelength of $\lambda \leq 520$ nm, in which device the luminescence conversion element (4, 5) converts radiation of a first spectral subrange of the radiation emitted by the semiconductor body (1), originating from a first wavelength range, into radiation of a second wavelength range in such a way that the semiconductor device emits radiation from a second spectral subrange of the first wavelength range and radiation of the second wavelength range, and in which device the luminescence conversion element (4, 5) has at least one inorganic luminescent material (6), in particular a phosphor.
2. Semiconductor device according to Claim 1, in which the luminescence conversion element consists at least partially of a material transparent to a radiation emitted by the semiconductor body (1) and a radiation emitted by the luminescent material (6), into which the inorganic luminescent material (6) is incorporated.
3. Semiconductor device according to Claim 1 or 2, in which one or more substances from the group of Ce-doped garnets, in particular YAG:Ce, is used as the organic luminescent material.
4. Semiconductor device according to Claim 1 or 2, in which one or more substances from the group of garnets doped with rare earths, alkaline earth sulphides doped with rare earths, thiogallates doped with rare earths, aluminates doped with rare earths and orthosilicates doped with rare earths is/are used as

the organic luminescent material.

5. Semiconductor device according to one of Claims
1 to 4, in which the luminescence conversion element
converts radiation of a first spectral subrange of the
5 radiation emitted by the semiconductor body (1),
originating from the first wavelength range, into
radiation of at least two second wavelength ranges in
such a way that the semiconductor device emits
radiation from a second spectral subrange of the first
10 wavelength range and radiation of the second wavelength
ranges, the second spectral subrange and the second
wavelength ranges having intensity maxima at different
wavelengths λ .

6. Semiconductor device according to one of Claims
15 1 to 5, in which the luminescence conversion element
converts radiation of a plurality of first spectral
subranges of the radiation emitted by the semiconductor
body (1), originating from a first wavelength range,
into radiation of a plurality of second wavelength
20 ranges in such a way that the semiconductor device
emits radiation from a plurality of second spectral
subranges of the first wavelength range and radiation
of the second wavelength ranges, the second spectral
subranges and the second wavelength ranges having
25 intensity maxima at different wavelengths.

7. Semiconductor device according to one of Claims
1 to 6, in which the semiconductor body (1) has an
active layer of $Ga_xIn_{1-x}N$ or $Ga_xAl_{1-x}N$.

8. Semiconductor device according to one of Claims
30 1 to 7, in which the luminescence conversion element
has a luminescence conversion layer (4) arranged over
or on the semiconductor body (1).

9. Semiconductor device according to one of Claims
1 to 8, in which a luminescence conversion sheathing
35 (5), which encloses at least part of the semiconductor
body (1) and subregions of the electrical terminals (2,
3), is provided as the luminescence conversion element.

10. Semiconductor device according to one of Claims
1 to 9, in which the luminescence conversion element is

provided with a plurality of various inorganic luminescent materials (6).

11. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 10, in which the second wavelength range or ranges 5 has or have at least partly greater wavelengths λ than the first wavelength range or ranges.

12. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 11, in which the second spectral subrange of the first wavelength range and the second wavelength range 10 are at least partly complementary to one another.

13. Semiconductor device according to Claim 5 or Claim 5 and one of Claims 7 to 11, in which a second spectral subrange of the first wavelength range and two second wavelength ranges produce an additive colour 15 triad.

14. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 13, in which the radiation emitted by the semiconductor body (1) has an intensity maximum at $\lambda = 430$ nm or at $\lambda = 450$ nm.

20 15. Semiconductor device according to Claim 8 or according to Claim 8 and one of Claims 10 to 14, in which at least part of the surface of the semiconductor body (1) is surrounded by a transparent sheathing (15) and in which the luminescence conversion layer (4) is 25 applied to the transparent sheathing (15).

16. Semiconductor device according to Claim 8 or according to Claim 8 and one of Claims 10 to 14, in which the luminescence conversion layer (4) is applied at least to part of the surface of the semiconductor 30 body (1).

17. Semiconductor device according to Claim 8 or according to Claim 8 and one of Claims 10 to 14, in which the semiconductor body (1) is arranged in a recess (9) of a basic housing (8) and in which the 35 recess (9) is covered by a covering layer (17) having a luminescence conversion layer (4).

18. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 17, in which the semiconductor body (1) is arranged in a recess (9) of a basic housing (8) and in

which the recess (9) is at least partially filled with a luminescence conversion element (4, 5).

19. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 18, in which the luminescence conversion element 5 (4, 5) has a plurality of layers with different wavelength conversion properties.

20. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 19, in which the luminescence conversion element (4, 5) additionally has organic dye molecules.

10 21. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 20, in which the luminescence conversion element (4, 5) has an epoxy resin matrix, a polymer matrix, in particular of silicone, thermoplastic or thermosetting plastic material, or a polymethylmethacrylate matrix.

15 22. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 20, in which the luminescence conversion element (4, 5) consists at least partially of a UV-stable and thermally stable inorganic material.

20 23. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 22, in which the luminescence conversion element (4, 5) additionally has organic dye molecules without any wavelength conversion effect.

25 24. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 23, in which the luminescence conversion element (4, 5) and/or possibly the transparent sheathing (10, 15) has light-scattering particles.

30 25. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 24, in which the luminescence conversion element (4, 5) is additionally provided with one or more luminescent 4f metallo-organic compounds.

26. Semiconductor device according to Claim 1, in which the inorganic luminescent material (6) is applied directly to the semiconductor body (1).

35 27. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 26, in which the semiconductor body (1) is a light-emitting diode chip or laser-diode chip emitting UV radiation.

28. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 27, in which the luminescence conversion element

(4, 5) and/or possibly the transparent sheathing (10, 15) is provided with at least one luminescent dye which is luminescent in the blue range.

29. Semiconductor device according to one of Claims 5 1 to 28, in which only a single radiation-emitting semiconductor body (1) is provided.

30. Semiconductor device according to one of Claims 1 to 19 or 22 to 28, in which all the components are produced from UV-stable and thermally stable inorganic 10 materials.

31. Use of a plurality of semiconductor devices according to one of Claims 1 to 30 in a full-colour LED display device.

32. Use of a plurality of semiconductor devices 15 according to one of Claims 1 to 30 for illuminating aircraft cabins.

34. Use of a semiconductor device according to one of Claims 1 to 30 for illuminating display devices, in particular for illuminating liquid-crystal displays.

Abstract

Semiconductor device radiating mixed-coloured light and having a luminescence conversion element

Semiconductor device radiating mixed-coloured light and having a radiation-emitting semiconductor body (1) and a luminescence conversion element (4, 5). The semiconductor body (1) emits radiation at a wavelength of $\lambda \leq 520$ nm and the luminescence conversion element (4, 5) converts part of this radiation into radiation at a greater wavelength. This allows light-emitting diodes which radiate mixed-coloured light, in particular white light, to be produced. The luminescence conversion element (4, 5) has an inorganic luminescent material (6).

Figure 1

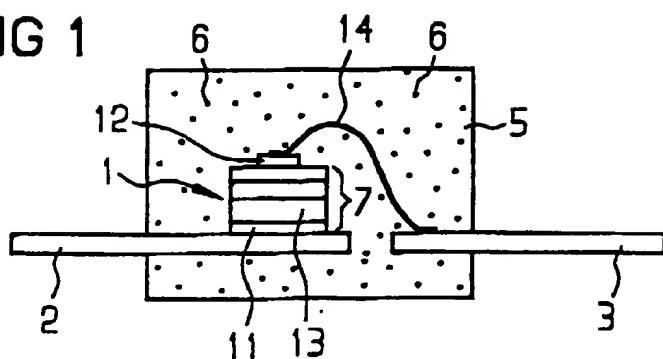
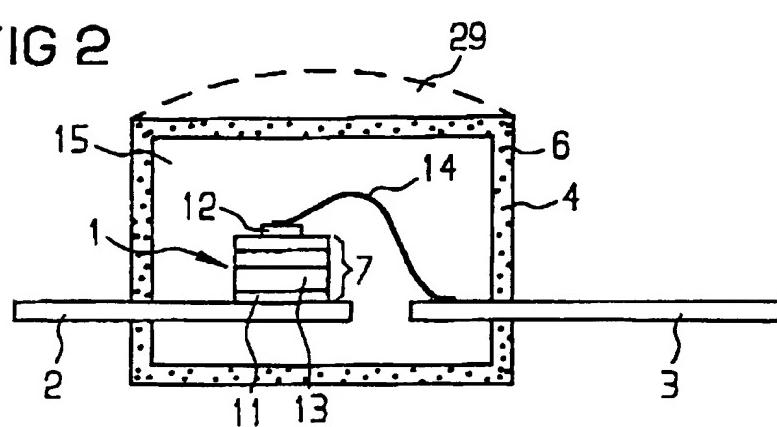
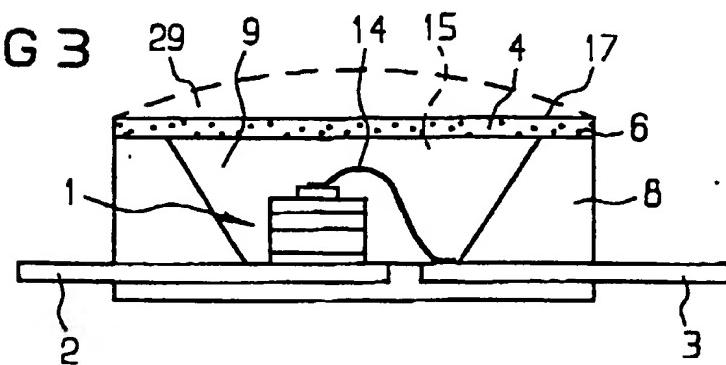
FIG 1**FIG 2****FIG 3**

FIG 4

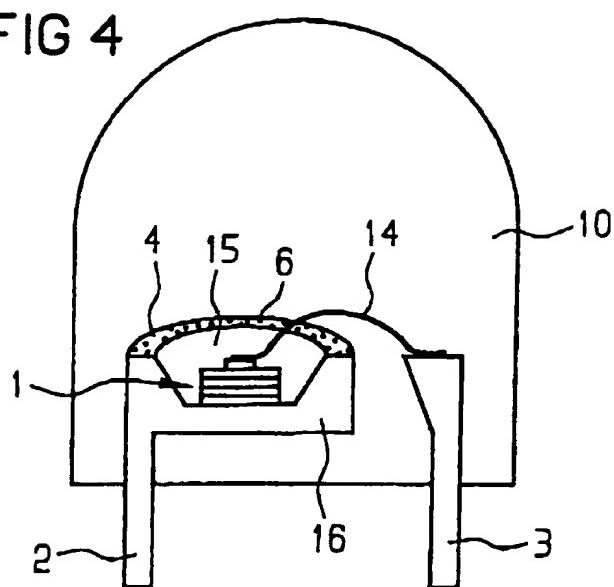


FIG 5

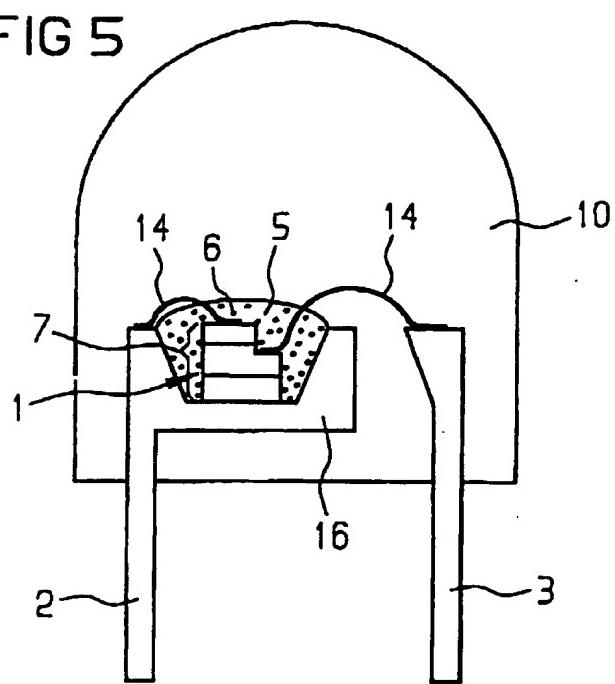
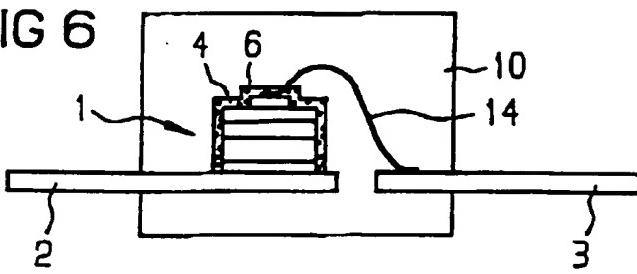
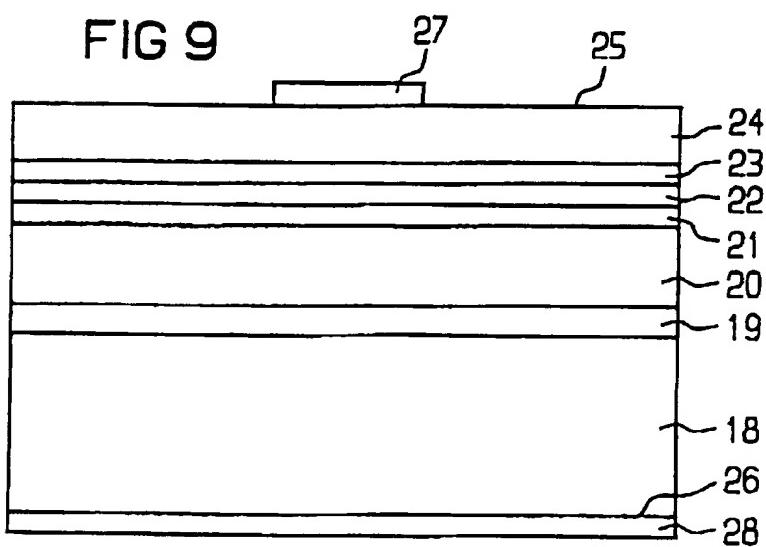
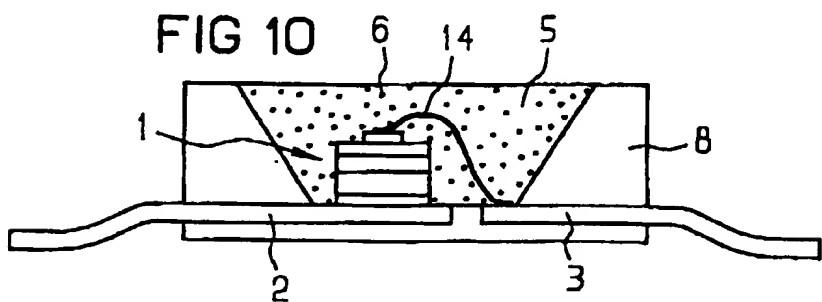


FIG 6**FIG 9****FIG 10**

4 / 5

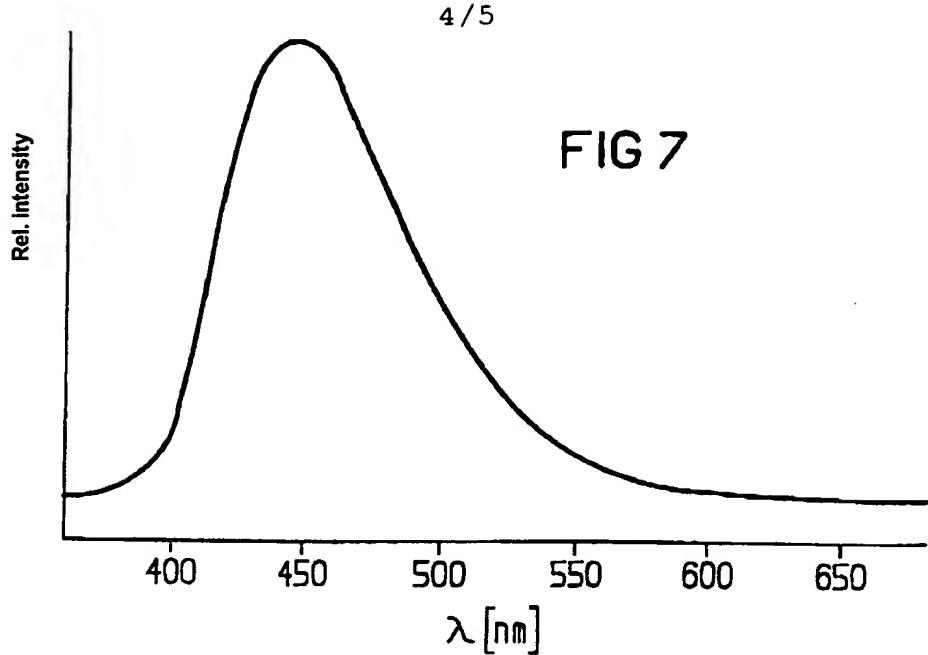


FIG 8

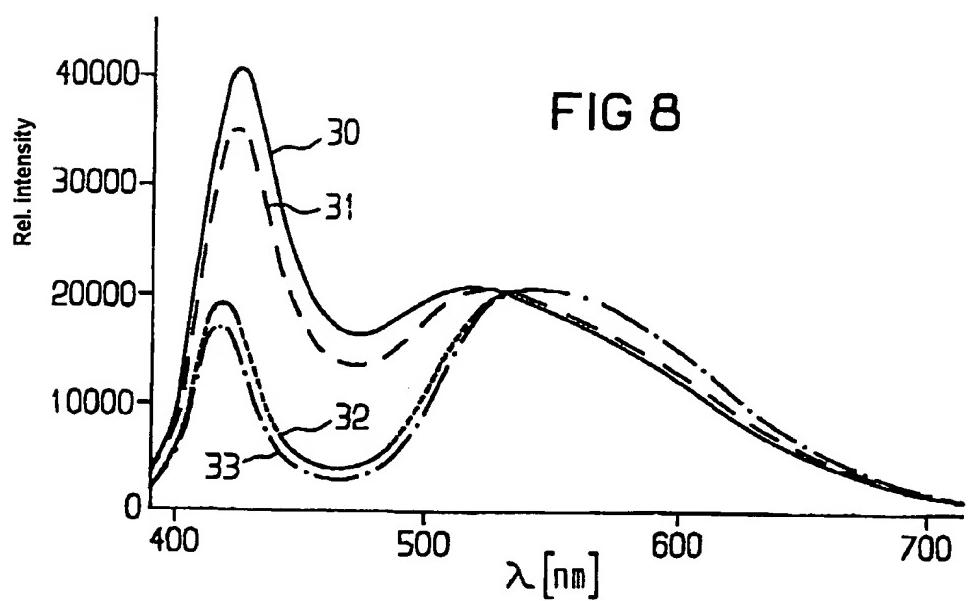


FIG 11

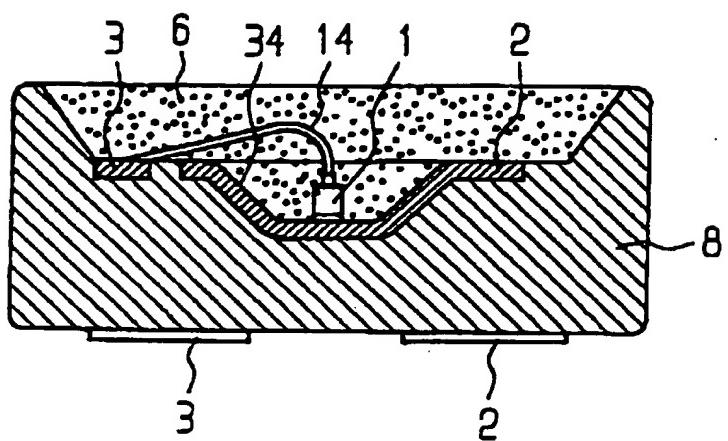
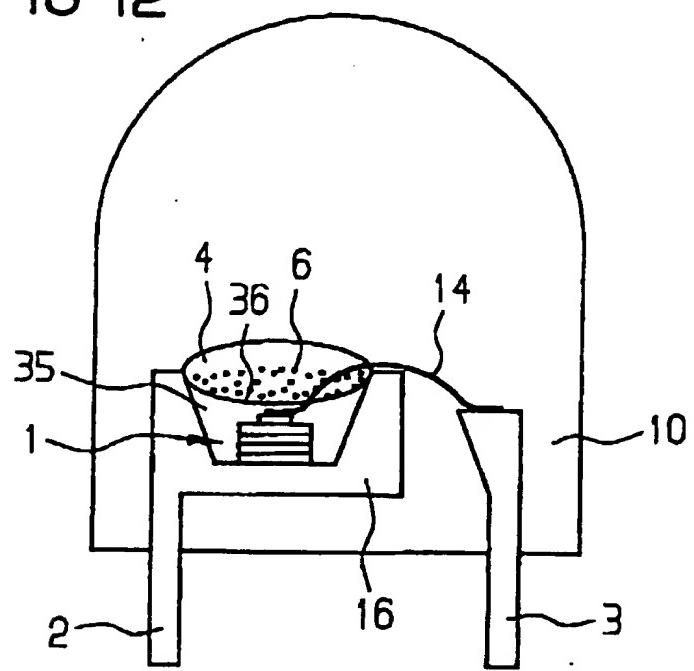


FIG 12



BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 196 38 667.5

Anmeldetag: 20. September 1996

Anmelder/Inhaber: Osram Opto Semiconductors GmbH & Co oHG,
Regensburg/DE

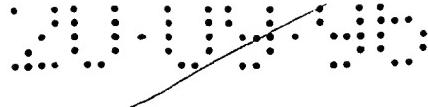
Erstanmelder: Siemens Aktiengesellschaft,
München/DE

Bezeichnung: Mischfarbiges Licht abstrahlendes Halbleiterbau-
element mit Lumineszenzkonversionselement

IPC: H 01 L, G 02 F, F 21 K

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 08. November 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Zusammenfassung

Mischfarbiges Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement mit Lumineszenzkonversionselement

5

Mischfarbiges Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement mit einem Strahlung aussendenden Halbleiterkörper (1) und einem Lumineszenzkonversionselement (4,5). Der Halbleiterkörper (1) sendet Strahlung mit einer Wellenlänge $\lambda \leq 520$ nm und das Lumineszenzkonversionselement (4,5) wandelt einen Teil dieser Strahlung in Strahlung mit einer größeren Wellenlänge um. Dadurch lassen sich Leuchtdioden herstellen, die mischfarbiges Licht, insbesondere weißes Licht abstrahlen. Das Lumineszenzkonversionselement (4,5) weist einen anorganischen Leuchtstoff (6) auf.

15

Figur 1

FIG 1

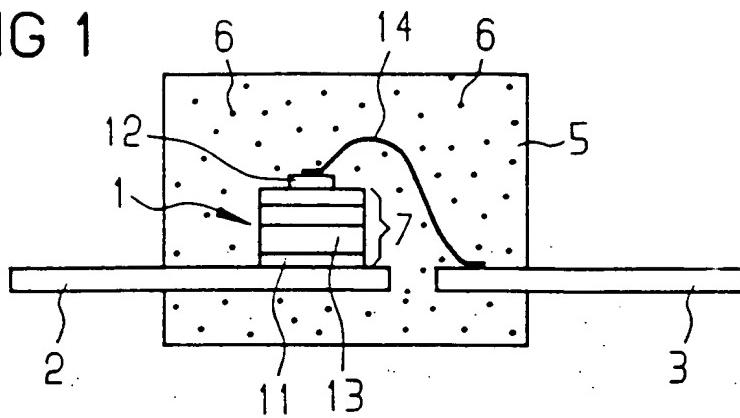


FIG 2

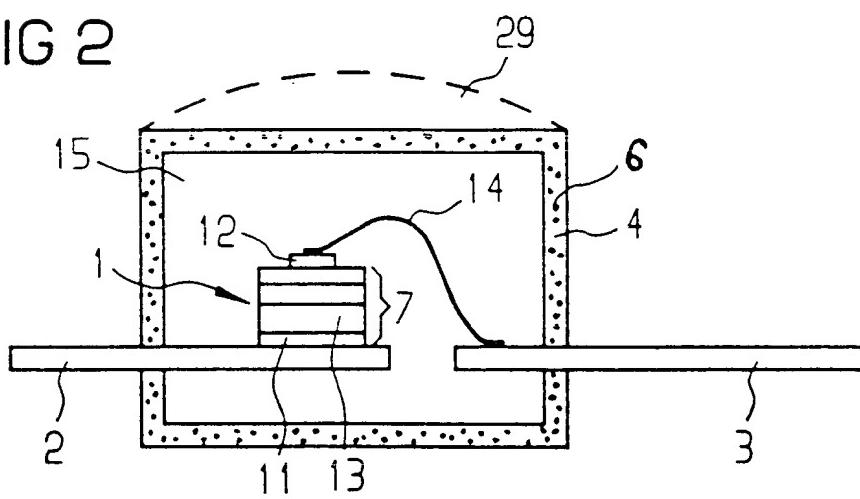
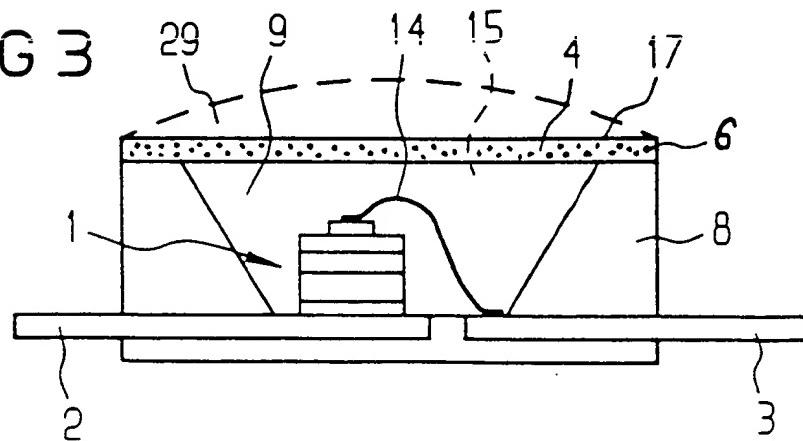


FIG 3



20.09.96

Beschreibung

Mischfarbiges Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement mit Lu-
mineszenzkonversionselement

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf ein mischfarbiges, insbesondere weißes Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement.
- In vielen potentiellen Anwendungsgebieten für Leuchtdioden, wie
10 zum Beispiel bei Anzeigeelementen im Kfz-Armaturenbrett, Be-
leuchtung in Flugzeugen und Autos und bei vollfarbtauglichen
LED-Displays, tritt verstärkt die Forderung nach Leucht-
diodenanordnungen auf, mit denen sich mischfarbiges Licht, ins-
besondere weißes Licht erzeugen lässt. Bisher lässt sich weißes
15 „LED“-Licht nur mit sogenannten Multi-LEDs erzeugen, bei denen
drei verschiedenfarbige Leuchtdioden (i. a. eine rote, eine
grüne und eine blaue) oder zwei komplementärfarbige Leuchtdi-
oden (z. B. eine blaue und eine gelbe) verwendet werden. Neben
einem erhöhten Montageaufwand sind für solche Multi-LEDs auch
20 aufwendige Ansteuerelektroniken erforderlich, da die verschie-
denen Diodentypen unterschiedliche Ansteuerspannungen benötigen.
Außerdem wird die Langzeitstabilität hinsichtlich Wellen-
länge und Intensität durch unterschiedliche Alterungserschei-
nungen der verschiedenen Leuchtdioden und auch aufgrund der un-
25 terschiedlichen Ansteuerspannungen und den daraus resultierenden
unterschiedlichen Betriebsströmen beeinträchtigt. Ein zu-
sätzlicher Nachteil der Multi-LEDs besteht darin, daß die Bau-
teilminiaturisierung stark begrenzt ist.
- 30 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Halb-
leiterbauelement der eingangs genannten Art zu entwickeln, mit
dem auf technisch einfache Weise, mit einem möglichst geringen
Bauteileaufwand, mischfarbiges Licht, insbesondere weißes Licht
erzeugt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch ein Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 30. Die Unteransprüche 31 bis 34 geben bevorzugte Verwendungsmöglichkeiten des erfindungsge-
5 mäßen Halbleiterbauelements an.

Erfindungsgemäß ist ein Strahlung aussendender Halbleiter-
körper, mit mindestens einem ersten und mindestens einem zweien
10 mit dem Halbleiterkörper elektrisch leitend verbundenen
elektrischen Anschluß vorgesehen, dem ein Lumineszenzkonversi-
onselement zugeordnet ist. Der Halbleiterkörper weist eine
Schichtenfolge auf, die eine elektromagnetische Strahlung mit
Wellenlängen $\lambda \leq 520$ nm aussendet. Sie weist insbesondere eine
15 Schichtenfolge mit einer aktiven Schicht aus $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ oder
 $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ auf. Das Lumineszenzkonversionselement wandelt Strah-
lung eines ersten spektralen Teilbereiches der von dem Halblei-
terkörper ausgesandten, aus einem ersten Wellenlängenbereich
stammenden Strahlung in Strahlung eines zweiten Wellenlängenbe-
reiches um, derart, daß das Halbleiterbauelement Strahlung aus
20 mindestens einem zweiten spektralen Teilbereich des ersten Wel-
lenlängenbereiches und Strahlung des zweiten Wellenlängenberei-
ches aussendet. Das Lumineszenzkonversionselement ist dazu mit
mindestens einem anorganischen Leuchtstoff, insbesondere mit
einem Phosphor versehen. Das heißt zum Beispiel, daß das Lumi-
25 neszenzkonversionselement einen Teil einer vom Halbleiterkörper
ausgesandten Strahlung spektral selektiv absorbiert und im län-
gerwelligen Bereich (im zweiten Wellenlängenbereich) emittiert.
Idealerweise weist die von dem Halbleiterkörper ausgesandte
Strahlung bei einer Wellenlänge $\lambda \leq 520$ nm ein Intensitätsmaxi-
30 mum auf.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfundungsgemäßen
Halbleiterbauelements besteht das Lumineszenzkonversionselement
zumindest teilweise aus einem transparenten Epoxidharz, das mit
35 dem anorganischen Leuchtstoff versehen ist. Vorteilhafterweise

lassen sich nämlich anorganische Leuchtstoffe insbesondere Phosphore wie z.B. YAG:Ce ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$), auf einfache Weise in Epoxidharz einbinden. Weiterhin als Leuchtstoffe geeignet sind weitere mit Seltenen Erden dotierte Granate wie z. B.

5 $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$, $\text{Y}(\text{Al},\text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ und $\text{Y}(\text{Al},\text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Tb}^{3+}$ sowie mit Seltenen Erden dotierte Erdalkali-Sulfide wie z. B. $\text{SrS}:\text{Ce}^{3+}, \text{Na}$, $\text{SrS}:\text{Ce}^{3+}, \text{Cl}$, $\text{SrS}:\text{CeCl}_3$, $\text{CaS}:\text{Ce}^{3+}$ und $\text{SrSe}:\text{Ce}^{3+}$.

Zur Erzeugung von mischfarbigem Licht eignen sich darüberhinaus mit Seltenen Erden dotierte Thiogallate wie z. B. $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$ und $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$ sowie mit Seltenen Erden dotierte Aluminat e wie z. B. $\text{YAlO}_3:\text{Ce}^{3+}$, $\text{YGaO}_3:\text{Ce}^{3+}$, $\text{Y}(\text{Al},\text{Ga})\text{O}_3:\text{Ce}^{3+}$ und mit Seltenen Erden dotierte Orthosilikate $\text{M}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$ (M: Sc, Y, Sc) wie z. B. $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$. Bei allen Yttriumverbindungen kann das Yttrium im 15 Prinzip auch durch Scandium oder Lanthan ersetzt werden.

Ebenso kann vorteilhaftweise bei dem erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement auch eine Anzahl (einer oder mehrere) von aus dem ersten Wellenlängenbereich stammenden ersten spektralen 20 Teilbereichen in mehrere zweite Wellenlängenbereiche umgewandelt werden. Dadurch ist es vorteilhaftweise möglich, vielfältige Farbmischungen und Farbtemperaturen zu erzeugen.

Das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement hat den besonderen 25 Vorteil, daß das über Lumineszenkonversion erzeugte Wellenlängenspektrum und damit die Farbe des abgestrahlten Lichtes nicht von der Höhe der Betriebsstromstärke durch den Halbleiterkörper abhängt. Dies ist insbesondere dann von großer Bedeutung, wenn die Umgebungstemperatur des Halbleiterbauelementes und damit 30 bekanntermaßen auch die Betriebsstromstärke stark schwankt. Besonders Leuchtdioden mit einem Halbleiterkörper auf der Basis von GaN sind diesbezüglich sehr empfindlich.

Außerdem benötigt das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement im 35 Gegensatz zu den eingangs genannten Multi-LEDs nur eine einzige

ZUJ-UW-VB

Ansteuerspannung und damit auch nur eine einzige Ansteuerschaltungsanordnung, wodurch der Bauteileaufwand sehr gering gehalten werden kann.

5 Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist als Lumineszenzkonversionselement über oder auf dem Halbleiterkörper eine teiltransparente, d. h. eine für die von dem Strahlung aussendenden Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung teilweise transparente Lumineszenzkonversionsschicht vorgesehen. Um eine einheitliche Farbe des abgestrahlten Lichtes sicherzustellen, ist vorteilhafterweise die Lumineszenzkonversionsschicht derart ausgebildet, daß sie durchweg eine konstante Dicke aufweist. Ein besonderer Vorteil eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements gemäß dieser Weiterbildung besteht darin, 15 daß auf einfache Weise eine hohe Reproduzierbarkeit erzielt werden kann, was für eine effiziente Massenfertigung von wesentlicher Bedeutung ist. Als Lumineszenzkonversionsschicht kann beispielsweise eine mit anorganischem Leuchtstoff versetzte Lack- oder Kunstharzsicht vorgesehen sein.

20 Eine andere bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes weist als Lumineszenzkonversionselement eine teiltransparente Lumineszenzkonversionsumhüllung auf, die zumindest einen Teil des Halbleiterkörpers (und evtl. Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse) umschließt und gleichzeitig als Bauteilumhüllung (Gehäuse) genutzt sein kann. Der Vorteil eines Halbleiterbauelements gemäß dieser Ausführungsform besteht im wesentlichen darin, daß zu seiner Herstellung konventionelle, für die Herstellung von herkömmlichen Leuchtdioden 25 (z. B. Radial-Leuchtdioden) eingesetzte Produktionslinien genutzt werden können. Für die Bauteilumhüllung ist anstelle des bei herkömmlichen Leuchtdioden dafür verwendeten transparenten Kunststoffes das Material der Lumineszenzkonversionsumhüllung verwendet.

Bei vorteilhaften Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements und der beiden oben genannten bevorzugten Ausführungsformen besteht die Lumineszenzkonversionsschicht bzw. die Lumineszenzkonversionsumhüllung aus einem transparenten Material (z. B. Kunststoff (wie Epoxidharz)), das mit mindestens einem anorganischen Farbstoff versehen ist (Beispiele für geeignete Kunststoffe finden sich weiter unten). Auf diese Weise lassen sich Lumineszenzkonversionselemente besonders kostengünstig herstellen. Die dazu notwendigen Verfahrensschritte sind nämlich ohne großen Aufwand in herkömmliche Produktionslinien für Leuchtdioden integrierbar.

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung bzw. der o. g. Ausführungsformen ist vorgesehen, daß der oder die zweiten Wellenlängenbereiche zumindest teilweise größere Wellenlängen aufweisen als der erste Wellenlängenbereich.

Insbesondere ist vorgesehen, daß ein zweiter spektraler Teilbereich des ersten Wellenlängenbereiches und ein zweiter Wellenlängenbereich zueinander komplementär sind. Auf diese Weise kann aus einer einzigen farbigen Lichtquelle, insbesondere einer Leuchtdiode mit einem einzigen blauen oder grünen Licht abstrahlenden Halbleiterkörper, mischfarbiges, insbesondere weißes Licht erzeugt werden. Um z. B. mit einem blauen Licht aussendenden Halbleiterkörper weißes Licht zu erzeugen, wird ein Teil des von dem Halbleiterkörper ausgesandten Spektralbereiches in einen gelben Spektralbereich konvertiert. Die Farbtemperatur des weißen Lichtes kann dabei durch geeignete Wahl des anorganischen Leuchtstoffes und geeignete Gestaltung des Lumineszenzkonversionselements (z. B. hinsichtlich Schichtdicke und Leuchtstoffkonzentration), variiert werden. Darüberhinaus bieten diese Anordnungen vorteilhafterweise auch die Möglichkeit, Leuchtstoffmischungen einzusetzen, wodurch sich vorteilhafterweise der gewünschte Farbton sehr genau einstellen läßt.

20.09.96

/10

Ebenso können Lumineszenzkonversionselemente inhomogen ausgestaltet sein, z. B. mittels einer inhomogenen Leuchtstoffverteilung. Unterschiedliche Weglängen des Lichtes durch das Lumineszenzkonversionselement können dadurch vorteilhafterweise kompensiert werden.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements weist das Lumineszenzkonversionselement oder ein anderer Bestandteil einer Bauteilumhüllung zur Farbanpassung einen oder mehrere Farbstoffe auf, die keine Wellenlängenkonversion bewirken. Hierzu können die für die Herstellung von herkömmlichen Leuchtdioden verwendeten Farbstoffe wie z. B. Azo-, Anthrachinon- oder Perinon-Farbstoffe wie herkömmlich eingesetzt werden.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist zumindest ein Teil der Oberfläche des Halbleiterkörpers von einer ersten, z. B. aus einem Kunststoff bestehenden transparenten Umhüllung umgeben, auf der die Lumineszenzkonversionsschicht aufgebracht ist. Dadurch wird die Strahlungsdichte im Lumineszenzkonversionselement und somit dessen Strahlungsbelastung verringert, was sich je nach verwendeten Materialien positiv auf die Lebensdauer des Lumineszenzkonversionselementes auswirkt.

Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sowie der oben genannten Ausführungsformen ist ein Halbleiterkörper, z. B. eine Leuchtdiode oder eine Laserdiode verwendet, bei dem das ausgesandte Strahlungsspektrum bei einer Wellenlänge zwischen 420nm und 460 nm, insbesondere bei 430 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$) oder 450 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$) ein Intenistätsmaximum. Mit einem derartigen erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement lassen sich vorteilhafterweise nahezu sämtliche Farben und Mischfarben der C.I.E.-Farbtafel erzeugen.

Bei einer weiteren besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung und deren Ausführungsformen ist die Lumineszenzkonversionsumhüllung bzw. die Lumineszenzkonversionsschicht aus einem
5 Lack oder aus einem Kunststoff, wie beispielsweise die für die Umhüllung optoelektronischer Bauelemente eingesetzten Silikon-, Thermoplast- oder Duroplastmaterialien (Epoxid- u. Acrylatharze) hergestellt. Des Weiteren können z. B. aus Thermoplastmaterialien gefertigte Abdeckelemente als Lumineszenzkonversions-
10 schicht eingesetzt sein. Sämtliche oben genannten Materialien lassen sich auf einfache Weise mit einem oder mehreren anorganischen Leuchtstoffen versetzen.

Besonders einfach läßt sich ein erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement vorteilhafterweise dann realisieren, wenn der Halbleiterkörper gemäß einer bevorzugten Weiterbildung in einer Ausnehmung eines gegebenenfalls vorgefertigten Gehäuses angeordnet ist und die Ausnehmung mit einem die Lumineszenzkonversionsschicht aufweisenden Abdeckelement versehen ist. Ein dergestaltiges Halbleiterbauelement läßt sich in großer Stückzahl in herkömmlichen Produktionslinien herstellen. Hierzu muß lediglich nach der Montage des Halbleiterkörpers in das Gehäuse, das Abdeckelement, beispielsweise eine Lack- oder Gießharzsicht oder eine vorgefertigte Abdeckplatte aus Thermoplastmaterial, 20 auf das Gehäuse aufgebracht werden. Optional kann die Ausnehmung des Gehäuses mit einem transparenten Material, beispielsweise einem transparenten Kunststoff, gefüllt sein, das z.B. die Wellenlänge des von dem Halbleiterkörper ausgesandten Lichtes nicht verändert oder aber, falls gewünscht, bereits lumineszenzkonvertierend ausgebildet sein kann. Im letztgenannten Fall kann das Abdeckelement auch weggelassen sein.
25

Vorteilhafte Materialien zur Herstellung der o. g. Lumineszenzkonversionsschicht bzw. Lumineszenzkonversionsumhüllung

sind z.B. Polymethylmetacrylat (PMMA) oder Epoxidharz dem ein oder mehrere anorganische Leuchtstoffe zugesetzt sind.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements bestehen zumindest alle lichtdurchstrahlten Komponenten der Umhüllung, d. h. auch die Lumineszenzkonversionsumhüllung bzw. -schicht aus rein anorganischen Materialien. Das Lumineszenzkonversionselement besteht somit aus einem anorganischen Leuchtstoff, der in einem temperaturstabilen, transparenten oder teiltransparenten anorganischen Material eingebettet ist. Insbesondere besteht das Lumineszenzkonversionselement aus einem anorganischen Phosphor, der in ein vorteilhafterweise niedrig schmelzendes anorganisches Glas (z. B. Silikatglas) eingebettet ist. Eine bevorzugte Herstellungsweise für eine derartige Lumineszenzkonversionsschicht ist die Sol-Gel-Technik, mit der die gesamte Lumineszenzkonversionsschicht, d. h. sowohl der anorganische Leuchtstoff als auch das Einbettmaterial in einem Arbeitsgang hergestellt werden kann.

Um die Durchmischung der von dem Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung des ersten Wellenlängenbereiches mit der lumineszenzkonvertierten Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches und damit die Farbkonstanz des abstrahlten Lichtes zu verbessern, ist bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements der Lumineszenzumhüllung bzw. der Lumineszenzkonversionsschicht und/oder einer anderen Komponente der Bauteilumhüllung zusätzlich ein im Blauen lumineszierender Farbstoff hinzugefügt, der eine sogenannte Richtcharakteristik der von dem Halbleiterkörper abgestrahlten Strahlung abschwächt. Unter Richtcharakteristik ist zu verstehen, daß die von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung eine bevorzugte Abstrahlrichtung aufweist.

Bei einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist zu diesem Zweck ein pulverförmiger anorganischer Leuchtstoff verwendet, der sich in dem ihn umhüllenden Stoff (Matrix) nicht löst. Außerdem weisen der an-
5 organische Leuchtstoff und der ihn umhüllende Stoff voneinander verschiedene Brechungsindizes auf. Dies führt vorteilhafterweise dazu, daß abhängig von der Korngröße des Leuchtstoffes, ein Anteil des nicht vom Leuchtstoff absorbierten Lichtes gestreut wird. Dadurch ist die Richtcharakteristik der von dem Halblei-
10 terkörper abgestrahlten Strahlung effizient geschwächt, so daß die nicht absorbierte Strahlung und die lumineszenzkonvertierte Strahlung homogen gemischt werden, was zu einem räumlich homogenen Farbeindruck führt. Das ist z. B. der Fall, wenn YAG:Ce mit einer Korngröße von 4 μm - 13 μm in Epoxidharz eingebettet
15 ist.

Ein weißes Licht abstrahlendes erfindungsgemäßes Halbleiterbau-
element läßt sich beispielsweise dadurch realisieren, daß einem zur Herstellung der Lumineszenzkonversionsumhüllung oder -
20 schicht verwendeten Epoxidharz der anorganische Leuchtstoff $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ beigemischt wird. Ein Teil einer von dem Halblei-
terkörper ausgesandten blauen Strahlung wird von dem anorgani-
schen Leuchtstoff $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ in den gelben Spektralbereich und somit in einen komplementären Wellenlängenbereich verschoben.
25 Der Farnton (Farbort in der CIE-Farbtafel) des weißen Lichts kann dabei durch geeignete Wahl der Farbstoffmischung und -konzentration variiert werden.

Der anorganische Leuchtstoff YAG:Ce hat unter anderem den be-
30 sonderen Vorteil, daß es sich hierbei um nicht lösliche Farb-
pigmente (Teilchengröße z.B. 10 μm) mit einem Brechungsindex von ca. 1,84 handelt. Dadurch tritt neben der Wellenlängenkonversi-
on noch ein Streueffekt auf, der zu einer guten Vermischung von blauer Diodenstrahlung und gelber Konverterstrahlung führt.

Bei einer weiteren bevorzugten Weiterbildung eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements bzw. der oben angegebenen vorteilhaften Ausführungsformen sind dem Lumineszenzkonversionselement oder einer anderen strahlungsdurchlässigen Komponente 5 der Bauteilumhüllung zusätzlich lichtstreuende Partikel, sogenannte Diffusoren zugesetzt. Hierdurch läßt sich vorteilhafterweise der Farbeindruck und die Abstrahlcharakteristik des Halbleiterbauelements weiter optimieren.

10 Von besonderem Vorteil ist, daß die Leuchteffizienz von weißleuchtenden erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen bzw. deren o. g. Ausführungsformen mit einem im wesentlichen auf der Basis von GaN hergestellten blau leuchtenden Halbleiterkörper gegenüber der Leuchteffizienz einer Glühbirne erheblich erhöht ist. 15 Der Grund dafür besteht darin, daß zum einen die externe Quantenausbeute derartiger Halbleiterkörper bei einigen Prozent liegt und andererseits die Lumineszenzausbeute von anorganischen Leuchtstoffen oft bei über 90% angesiedelt ist. Darüberhinaus zeichnet sich das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement 20 im Vergleich zur Glühbirne durch eine extrem lange Lebensdauer, größere Robustheit und eine kleinere Betriebsspannung aus.

Vorteilhaft ist weiterhin, daß die für das menschliche Auge wahrnehmbare Helligkeit des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements gegenüber einem ohne Lumineszenzkonversionselement 25 ausgestatteten, aber sonst identischen Halbleiterbauelement deutlich erhöht werden kann, da die Augenempfindlichkeit zu höherer Wellenlänge hin zunimmt. Es kann darüberhinaus auch ultraviolettes Licht in sichtbares Licht umgewandelt werden.

30 Das hier vorgestellte Konzept der Lumineszenzkonversion mit blauem Licht eines Halbleiterkörpers läßt sich vorteilhafterweise auch auf mehrstufige Lumineszenzkonversionselemente erweitern, nach dem Schema ultraviolett → blau → grün → gelb → 35 rot. Hierbei werden mehrere unterschiedlich spektral selektiv

emittierende Lumineszenzkonversionselemente relativ zum Halbleiterkörper hintereinander angeordnet.

- Ebenso können vorteilhafterweise mehrere unterschiedlich spektral selektiv emittierende anorganische Leuchtstoffe gemeinsam in einen transparenten Kunststoff eines Lumineszenzkonversionselements eingebettet sein. Hierdurch ist ein sehr breites Farbspektrum erzeugbar.
- Besonders vorteilhaft können erfindungsgemäße Halbleiterbauelemente gemäß der vorliegenden Erfindung z.B. in vollfarbtauglichen LED-Anzeigevorrichtungen (Displays) oder zu Beleuchtungszwecken in Flugzeugen, Kraftfahrzeugen usw. eingesetzt werden.
- Ein besonderer Vorteil von erfindungsgemäßen weißes Licht abstrahlenden Halbleiterbauelementen auf der Basis Ce-dotierter Phosphore, insbesondere Ce-dotierter Granate wie z. B. YAG:Ce als Leuchtstoff, besteht darin, daß diese Leuchtstoffe bei Anregung mit blauem Licht eine spektrale Verschiebung von ca. 100 nm zwischen Absorption und Emission bewirkt. Dies führt zu einer wesentlichen Reduktion der Reabsorption des vom Leuchtstoff emittierten Lichtes und damit zu einer höheren Lichtausbeute. Außerdem besitzen derartige anorganische Leuchtstoffe vorteilhafterweise im allgemeinen eine hohe thermische und photochemische (z. B. UV-) Stabilität (wesentlich höher als organische Leuchtstoffe), so daß auch Weiß leuchtende Dioden für Außenanwendung und/oder hohe Temperaturbereiche herstellbar sind.
- Besonders vorteilhaft lassen sich erfindungsgemäße Halbleiterbauelemente insbesondere aufgrund ihrer geringen Leistungsaufnahme in vollfarbtauglichen LED-Displays, zur Beleuchtung von Kfz-Innenräumen oder von Flugzeugkabinen sowie zur Beleuchtung von Anzeigevorrichtungen wie Kfz-Armaturen oder Flüssigkrystallanzeigen verwenden.

Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von neun Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren 1 bis 12. Es zeigen:

- 5 Figur 1 eine schematische Schnittansicht durch ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;
- 10 Figur 2 eine schematische Schnittansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;
- 15 Figur 3 eine schematische Schnittansicht durch ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäße Halbleiterbauelementes;
- 20 Figur 4 eine schematische Schnittansicht eines vierten Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;
- 25 Figur 5 eine schematische Schnittansicht eines fünften Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;
- 30 Figur 6 eine schematische Schnittansicht eines sechsten Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;
- Figur 7 eine schematische Darstellung eines Emissionsspektrums eines blauen Licht abstrahlenden Halbleiterkörpers mit einer Schichtenfolge auf der Basis von GaN;
- Figur 8 eine schematische Darstellung der Emissionsspektren von erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen, die weißes Licht abstrahlen;
- Figur 9 eine schematische Schnittdarstellung durch einen Halbleiterkörper, der blaues Licht aussendet;
- Figur 10 eine schematische Schnittansicht eines siebten Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;
- Figur 11 eine schematische Schnittansicht eines achtten Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes und
- Figur 12 eine schematische Schnittansicht eines neunten Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes.

In den verschiedenen Figuren sind jeweils gleiche oder gleichwirkende Teile immer mit denselben Bezugszeichen versehen.

Bei dem in Figur 1 dargestellten Licht aussendenden Halbleiterbauelement weist ein Halbleiterkörper 1, z. B. eine Leuchtdiode oder eine Laserdiode, einen Rückseitenkontakt 11, einen Vorderseitenkontakt 12 und eine sich aus einer Anzahl von unterschiedlichen Schichten zusammensetzende Schichtenfolge 7 auf, die mindestens eine eine Strahlung (z. B. ultraviolette, blaue oder grüne Strahlung) aussendende aktive Zone besitzt.

Ein Beispiel für eine geeignete Schichtenfolge 7 für dieses und für sämtliche im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele ist in Figur 9 gezeigt. Hierbei ist auf einem Substrat 18, das z. B. aus SiC besteht, eine Schichtenfolge aus einer AlN- oder GaN-Schicht 19, einer n-leitenden GaN-Schicht 20, einer n-leitenden $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ - oder $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ -Schicht 21, einer weiteren n-leitenden GaN- oder $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ -Schicht 22, einer p-leitenden $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ - oder $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ -Schicht 23 und einer p-leitenden GaN-Schicht 24 aufgebracht. Auf einer Hauptfläche 25 der p-leitenden GaN-Schicht 24 und einer Hauptfläche 26 des Substrats 18 ist jeweils eine Kontaktmetallisierung 27, 28 aufgebracht, die aus einem herkömmlich in der Halbleiterechnik für elektrische Kontakte verwendeten Werkstoff besteht.

Es kann jedoch auch jeder andere dem Fachmann für das erfundungsgemäße Halbleiterbauelement als geeignet erscheinende Halbleiterkörper verwendet werden. Dies gilt ebenso für sämtliche nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele.

Im Ausführungsbeispiel von Figur 1 ist der Halbleiterkörper 1 mittels eines elektrisch leitenden Verbindungsmittels, z. B. ein metallisches Lot oder ein Klebstoff, mit seinem Rückseitenkontakt 11 auf einem ersten elektrischen Anschluß 2 befestigt. Der Vorderseitenkontakt 12 ist mittels eines Bonddrahtes 14 mit einem zweiten elektrischen Anschluß 3 verbunden.

Der Halbleiterkörper 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 sind unmittelbar von einer Lumineszenzkonversionsumhüllung 5 umschlossen. Diese besteht beispielsweise aus einem für transparente Leuchtdiodenumhüllungen verwendbaren

5 transparenten Kunststoff (z. B. Epoxidharz oder Polymethylmethacrylat) oder einem niedrig schmelzenden anorganischen Glas, dem ein anorganischer Leuchtstoff 6, z.B. $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ (YAG:Ce) für ein weißes Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement, beigemischt ist.

10 Das in Figur 2 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfundungsgemäßen Halbleiterbauelements unterscheidet sich von dem der Figur 1 dadurch, daß der Halbleiterkörper 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 anstatt von einer Lumineszenzkonversionsumhüllung von einer transparenten Umhüllung 15 umschlossen sind. Diese transparente Umhüllung 15 bewirkt keine Wellenlängenänderung einer von dem Halbleiterkörper 1 ausgesandten Strahlung und besteht beispielsweise aus einem in der Leuchtdiodentechnik herkömmlich verwendeten Epoxid-, Silikon- oder Acrylatharz oder aus einem anderen geeigneten strahlungsdurchlässigen Material wie z. B. anorganisches Glas.

15 Auf diese transparente Umhüllung 15 ist eine Lumineszenzkonversionsschicht 4 aufgebracht, die, wie in der Figur 2 dargestellt, die gesamte Oberfläche der Umhüllung 15 bedeckt. Ebenso denkbar ist, daß die Lumineszenzkonversionsschicht 4 nur einen Teilbereich dieser Oberfläche bedeckt. Die Lumineszenzkonversionsschicht 4 besteht beispielsweise wiederum aus einem transparenten Kunststoff (z. B. Epoxidharz, Lack oder Polymethylmethacrylat) oder aus einem anorganischen Glas, der bzw. das mit einem anorganischen Leuchtstoff 6 versetzt ist. Auch hier eignet sich als Leuchtstoff für ein weiß leuchtendes Halbleiterbauelement z.B. YAG:Ce.

20.09.96

Dieses Ausführungsbeispiel hat den besonderen Vorteil, daß für die gesamte von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung die Weglänge durch das Lumineszenzkonversionselement näherungsweise gleich groß ist. Dies spielt insbesondere dann eine bedeutende 5 Rolle, wenn, wie oftmals der Fall, der genaue Farnton des von dem Halbleiterbauelement abgestrahlten Lichtes von dieser Weglänge abhängt.

Zur besseren Auskopplung des Lichtes aus der Lumineszenzkonversionsschicht 4 von Figur 2 kann auf einer Seitenfläche des Bau-elements eine linsenförmige Abdeckung 29 (gestrichelt einge- 10 zeichnet) vorgesehen sein, die eine Totalreflexion der Strah- lung innerhalb der Lumineszenzkonversionsschicht 4 reduziert. Diese linsenförmige Abdeckung 29 kann aus transparentem Kunst- 15 stoff oder Glas bestehen und auf die Lumineszenzkonversions- schicht 4 beispielsweise aufgeklebt oder direkt als Bestandteil der Lumineszenzkonversionsschicht 4 ausgebildet sein.

Bei dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel sind der 20 erste und der zweite elektrische Anschluß 2,3 in ein lichtun- durchlässiges evtl. vorgefertigtes Grundgehäuse 8 mit einer Ausnehmung 9 eingebettet. Unter „vorgefertigt“ ist zu verste- hen, daß das Grundgehäuse 8 bereits an den Anschlüssen 2,3 bei- 25 spielsweise mittels Spritzguß fertig ausgebildet ist, bevor der Halbleiterkörper auf den ersten Anschluß 2 montiert wird. Das Grundgehäuse 8 besteht beispielsweise aus einem lichtundurch- lässigen Kunststoff und die Ausnehmung 9 ist als Reflektor 17 (ggf. durch geeignete Beschichtung der Innenwände der Ausneh- mung 9) ausgebildet. Solche Grundgehäuse 8 werden seit langem 30 insbesondere bei oberflächenmontierbaren Leuchtdioden (SMD- TOPLEDs) verwendet und werden daher an dieser Stelle nicht mehr näher erläutert. Sie werden vor der Montage der Halbleiterkör- per auf ein die elektrischen Anschlüsse 2,3 aufweisendes Lei- terband (Leadframe) aufgebracht.

ZUJ-LPH-50

Die Ausnehmung 9 ist von einer Lumineszenzkonversionsschicht 4, beispielsweise eine separat hergestellte und auf dem Grundgehäuse 8 befestigte Abdeckplatte 17 aus Kunststoff, abgedeckt. Als geeignete Materialien für die Lumineszenzkonversionsschicht 4 kommen wiederum die weiter oben im allgemeinen Teil der Beschreibung genannten Kunststoffe oder anorganisches Glas in Verbindung mit den dort genannten anorganischen Leuchtstoffen in Frage. Die Ausnehmung 9 kann sowohl mit einem transparenten Kunststoff, mit einem anorganischen Glas oder mit Gas gefüllt 10 als auch mit einem Vakuum versehen sein.

Wie bei dem Ausführungsbeispiel nach Figur 2 kann auch hier zur besseren Auskopplung des Lichtes aus der Lumineszenzkonversionsschicht 4 auf dieser eine linsenförmige Abdeckung 29 15 (gestrichelt eingezeichnet) vorgesehen sein, die eine Totalreflexion der Strahlung innerhalb der Lumineszenzkonversions- schicht 4 reduziert. Diese Abdeckung 29 kann wiederum aus transparentem Kunststoff oder aus anorganischem Glas bestehen und auf die Lumineszenzkonversionsschicht 4 beispielsweise auf- 20 geklebt oder zusammen mit der Lumineszenzkonversionsschicht 4 einstückig ausgebildet sein.

Ebenso ist es möglich, daß die Ausnehmung 9, wie in Figur 10 gezeigt, mit einem mit einem anorganischen Leuchtstoff 6 verse- 25 henen Kunststoff oder Glas, d. h. mit einer Lumineszenzhül- lung 5 gefüllt ist, die das Lumineszenzkonversionselement bil- det. Eine Abdeckplatte 17 und/oder eine linsenförmige Abdeckung 29 kann dann auch weggelassen sein. Weiterhin ist optional, wie in Figur 11 dargestellt, der erste elektrische Anschluß 2 z. B. 30 durch Prägen im Bereich des Halbleiterkörpers 1 als Reflektoran- wanne 34 ausgebildet, die mit einer Lumineszenzkonversionsum- hüllung 5 gefüllt ist.

In Figur 4 ist als weiteres Ausführungsbeispiel eine sogenannte Radialdiode dargestellt. Hierbei ist der Halbleiterkörper 1 in

einem als Reflektor ausgebildeten Teil 16 des ersten elektrischen Anschlußes 2 beispielsweise mittels Löten oder Kleben befestigt. Auch derartige Gehäusebauformen sind aus der Leuchtdiodentechnik wohlbekannt und bedürfen von daher keiner näheren

5 Erläuterung.

Bei dem Ausführungsbeispiel von Figur 4 ist der Halbleiterkörper 1 von einer transparenten Umhüllung 15 umgeben, die wie beim zweitgenannten Ausführungsbeispiel (Figur 2) keine Wellenlängenänderung der von dem Halbleiterkörper 1 ausgesandten Strahlung bewirkt und beispielsweise aus einem herkömmlich in der Leuchtdiodentechnik verwendeten transparenten Epoxidharz oder aus einem anorganischen Glas bestehen kann.

15 Auf dieser transparenten Umhüllung 15 ist eine Lumineszenzkonversionsschicht 4 aufgebracht. Als Material hierfür kommen beispielsweise wiederum die im Zusammenhang mit den vorgenannten Ausführungsbeispielen angeführten Kunststoffe oder anorganisches Glas in Verbindung mit den oben Leuchtstoffen in Frage.

20 Der gesamte Aufbau, bestehend aus Halbleiterkörper 1, Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2,3, transparente Umhüllung 15 und Lumineszenzkonversionsschicht 4, ist von einer weiteren transparenten Umhüllung 10 umschlossen, die keine Wellenlängenänderung der durch die Lumineszenzkonversionsschicht 4 hindurchgetretenen Strahlung bewirkt. Sie besteht beispielsweise wiederum aus einem herkömmlich in der Leuchtdiodentechnik verwendeten transparenten Epoxidharz oder aus Glas.

30 Das in Figur 5 gezeigte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem von Figur 4 insbesondere dadurch, daß die freien Oberflächen des Halbleiterkörpers 1 unmittelbar von einer Lumineszenzkonversionsumhüllung 5 bedeckt sind, die wiederum von einer weiteren transparenten Umhüllung 10 umgeben ist. In Figur 5 ist 35 weiterhin beispielhaft ein Halbleiterkörper 1 dargestellt, bei

dem anstelle des Rückseitenkontaktees 11 ein weiterer Kontakt auf der Halbleiterschichtenfolge 7 angebracht ist, der mittels eines zweiten Bonddrahtes 14 mit dem zugehörigen elektrischen Anschluß 2 oder 3 verbunden ist. Selbstverständlich sind derartige Halbleiterkörper 1 auch bei allen anderen hierin beschriebenen Ausführungsbeispielen einsetzbar. Umgekehrt ist natürlich auch bei dem Ausführungsbeispiel von Figur 5 ein Halbleiterkörper 1 gemäß den vorgenannten Ausführungsbeispielen verwendbar.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle angemerkt, daß selbstverständlich auch bei der Bauform nach Figur 5 analog zu dem Ausführungsbeispiel nach Figur 1 eine einstückige Lumineszenzkonversionsumhüllung 5, die dann an die Stelle der Kombination aus Lumineszenzkonversionsumhüllung 5 und weiterer transparenter Umhüllung 10 tritt, verwendet sein kann.

Bei dem Ausführungsbeispiel von Figur 6 ist eine Lumineszenzkonversionsschicht 4 (mögliche Materialien wie oben angegeben) direkt auf den Halbleiterkörper 1 aufgebracht. Dieser und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2,3 sind von einer weiteren transparenten Umhüllung 10 umschlossen, die keine Wellenlängenänderung der durch die Lumineszenzkonversionsschicht 4 hindurchgetretenen Strahlung bewirkt und beispielsweise aus einem in der Leuchtdiodentechnik verwendbaren transparenten Epoxidharz oder aus Glas gefertigt ist.

Solche, mit einer Lumineszenzkonversionsschicht 4 versehenen Halbleiterkörper 1 ohne Umhüllung können natürlich vorteilhafterweise in sämtlichen aus der Leuchtdiodentechnik bekannten Gehäusebauformen (z. B. SMD-Gehäuse, Radial-Gehäuse (man vergleiche Figur 5)) verwendet sein.

Bei dem in Figur 12 dargestellten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist auf dem Halbleiterkörper 1 ein transparentes Wannenteil 35 angeordnet, das über

dem Halbleiterkörper 1 eine Wanne 36 aufweist. Das Wannenteil 35 besteht beispielsweise aus transparentem Epoxidharz oder aus anorganischem Glas und ist z. B. mittels Umspritzen der elektrischen Anschlüsse 2,3 einschließlich Halbleiterkörper 1 gefertigt. In dieser Wanne 36 ist eine Lumineszenzkönversionschicht 4 angeordnet, die z. B. wiederum aus Epoxidharz oder anorganischem Glas gefertigt ist, in das Partikel 37, bestehend aus einem der o. g. anorganischen Leuchtstoffe, eingebunden sind. Bei dieser Bauform wird vorteilhafterweise auf sehr einfache Weise sichergestellt, daß sich der Leuchtstoff während der Herstellung des Halbleiterbauelements an nicht vorgesehenen Stellen, z. B. neben dem Halbleiterkörper, ansammelt. Das Wannenteil 35 kann selbstverständlich auch separat hergestellt und anderweitig, z. B. an einem Gehäuseteil, über dem Halbleiterkörper 1 befestigt sein.

Bei sämtlichen der oben beschriebenen Ausführungsbeispiele kann zur Optimierung des Farbeindrucks des abgestrahlten Lichts sowie zur Anpassung der Abstrahlcharakteristik das Lumineszenzkonversionselement (Lumineszenzkonversionsumhüllung 5 oder Lumineszenzkonversionsschicht 4), ggf. die transparente Umhüllung 15, und/oder ggf. die weitere transparente Umhüllung 10 lichtstreuende Partikel, sogenannte Diffusoren aufweisen. Beispiele für derartige Diffusoren sind mineralische Füllstoffe, insbesondere CaF_2 , TiO_2 , SiO_2 , CaCO_3 oder BaSO_4 oder auch organische Pigmente. Diese Materialien können auf einfache Weise den o. g. Umhüllungs- bzw. Schichtmaterialien zugesetzt werden.

In den Figuren 7 und 8 sind Emissionsspektren eines blauen Licht abstrahlenden Halbleiterkörpers (Fig. 7) (Lumineszenzmaximum bei $\lambda \sim 430 \text{ nm}$) bzw. von Weiß leuchtenden erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen (Fig. 8) gezeigt, die mittels solcher Halbleiterkörper hergestellt sind. An der Abszisse ist die Wellenlänge λ in nm und an der Ordinate ist eine relative Intensität der ausgesandten Strahlung aufgetragen.

Von der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung nach Figur 7 wird nur ein Teil in einen längerwelligen Wellenlängenbereich konvertiert, so daß als Mischfarbe weißes Licht entsteht. Die 5 verschiedenenartig gestrichelten Linien 30 bis 33 von Figur 8 stellen Emissionsspektren von erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen in Form von Radialdioden dar, bei denen das Lumineszenzkonversionselement, in diesem Fall eine Lumineszenzkonversionsumhüllung aus Epoxidharz, unterschiedliche YAG:Ce- 10 Konzentrationen aufweist. Jedes Emissionsspektrum weist zwischen $\lambda = 420$ nm und $\lambda = 430$ nm, also im blauen Spektralbereich, und zwischen $\lambda = 520$ nm und $\lambda = 545$ nm, also im grünen Spektralbereich, jeweils ein Intensitätsmaximum auf, wobei die 15 Emissionsbanden mit dem längerwelligen Intensitätsmaximum zu einem großen Teil im gelben Spektralbereich liegen. Das Diagramm von Figur 8 verdeutlicht, daß bei dem erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement auf einfache Weise durch Veränderung der Leuchtstoffkonzentration im Epoxidharz der CIE-Farbort des weißen Lichtes verändert werden kann.

20 Weiterhin ist es möglich, anorganische Leuchtstoffe auf Basis von Ce-dotierten Granaten, Thiogallaten, Erdalkali-Sulfiden und Aluminaten direkt auf den Halbleiterkörper aufzubringen, ohne sie in Epoxidharz oder Glas zu dispergieren.

25 Ein weiterer besonderer Vorteil der oben genannten anorganischen Leuchtstoffe ergibt sich daraus, daß die Leuchtstoffkonzentration z.B. im Epoxidharz nicht wie bei organischen Farbstoffen durch die Löslichkeit begrenzt wird. Dadurch sind keine 30 großen Dicken von Lumineszenzkonversionselementen nötig.

Patentansprüche

1. Mischfarbiges Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement mit einem Strahlung aussendenden Halbleiterkörper (1), mit mindestens einem ersten und einem zweiten elektrischen Anschluß (2,3), die mit dem Halbleiterkörper (1) elektrisch leitend verbunden sind, und mit einem Lumineszenzkonversionselement (4,5), bei dem der Halbleiterkörper (1) eine Halbleiterschichtenfolge (7) aufweist, die eine elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge $\lambda \leq 520$ nm aussendet, bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) Strahlung eines ersten spektralen Teilbereiches der von dem Halbleiterkörper (1) ausgesandten, aus einem ersten Wellenlängenbereich stammenden Strahlung in Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereiches umwandelt, derart, daß das Halbleiterbauelement Strahlung aus einem zweiten spektralen Teilbereich des ersten Wellenlängenbereiches und Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches aussendet und bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) mindestens einen anorganischen Leuchtstoff (6), insbesondere einen Phosphor, aufweist.
2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, bei dem das Lumineszenzkonversionselement zumindest teilweise aus einem für eine von dem Halbleiterkörper (1) ausgesandte und eine von dem Leuchtstoff (6) emittierte Strahlung durchlässigen Material besteht, in das der anorganische Leuchtstoff (6) eingebunden ist.
3. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem als organischer Leuchtstoff ein oder mehrere Stoffe aus der Gruppe der Ce-dotierten Granate, insbesondere YAG:Ce, verwendet ist.
4. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem als organischer Leuchtstoff ein oder mehrere Stoffe aus der Gruppe der mit Seltenen Erden dotierten Granate, mit Seltenen Erden dotierten Erdalkali-Sulfide, mit Seltenen Erden dotierten Thio-

gallate, mit Seltenen Erden dotierte Aluminate und mit Seltenen Erden dotierte Orthosilikate verwendet ist.

5. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei
dem das Lumineszenzkonversionselement Strahlung eines ersten
spektralen Teilbereiches der von dem Halbleiterkörper (1) aus-
gesandten, aus dem ersten Wellenlängenbereich stammenden Strah-
lung in Strahlung von mindestens zwei zweiten Wellenlängenbe-
reichen umwandelt, derart, daß das Halbleiterbauelement Strah-
lung aus einem zweiten spektralen Teilbereich des ersten Wel-
lenlängenbereiches und Strahlung der zweiten Wellenlängenberei-
che aussendet, wobei der zweite spektrale Teilbereich und die
zweiten Wellenlängenbereiche Intensitätsmaximas bei verschiede-
nen Wellenlängen λ aufweisen.

15 6. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei
dem das Lumineszenzkonversionselement Strahlung mehrerer erster
spektraler Teilbereiche der von dem Halbleiterkörper (1) ausge-
sandten, aus einem ersten Wellenlängenbereich stammenden Strah-
lung in Strahlung mehrer zweiter Wellenlängenbereiche umwan-
delt, derart, daß das Halbleiterbauelement Strahlung aus mehre-
ren zweiten spektralen Teilbereichen des ersten Wellenlängenbe-
reiches und Strahlung der zweiten Wellenlängenbereiche aussen-
det, wobei die zweiten spektralen Teilbereiche und die zweiten
25 Wellenlängenbereiche Intensitätsmaximas bei unterschiedlichen
Wellenlängen aufweisen.

7. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei
dem der Halbleiterkörper (1) eine aktive Schicht aus $Ga_xIn_{1-x}N$
30 oder $Ga_xAl_{1-x}N$ aufweist.

8. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei
dem das Lumineszenzkonversionselement eine über oder auf dem
Halbleiterkörper (1) angeordnete Lumineszenzkonversionsschicht
35 (4) aufweist.

ZU · LIP · 16

9. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem als Lumineszenzkonversionselement eine Lumineszenzkonversionsumhüllung (5) vorgesehen ist, die zumindest einen Teil des 5 Halbleiterkörpers (1) und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse (2,3) umschließt.
10. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem das Lumineszenzkonversionselement mit mehreren verschieden- 10 artigen organischen und/oder anorganischen Leuchtstoffen (6) versehen ist.
11. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem der bzw. die zweiten Wellenlängenbereiche zumindest teilweise 15 größere Wellenlängen λ aufweisen als der bzw. die ersten Wellenlängenbereiche.
12. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem der zweite spektrale Teilbereich des ersten Wellenlängenbe- 20 reiches und der zweite Wellenlängenbereich zumindest teilweise zueinander komplementär sind.
13. Halbleiterbauelement nach Anspruch 5 oder Anspruch 5 und einem der Ansprüche 7 bis 11, bei dem ein zweiter spektraler 25 Teilbereich des ersten Wellenlängenbereiches und zwei zweite Wellenlängenbereiche ein additives Farbtripel ergeben.
14. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei dem die vom Halbleiterkörper (1) ausgesandte Strahlung bei $\lambda =$ 30 430 nm oder bei $\lambda =$ 450 nm ein Intensitäts-Maximum aufweist.
15. Halbleiterbauelement nach Anspruch 8 oder nach Anspruch 8 und einem der Ansprüche 10 bis 14, bei dem zumindest ein Teil der Oberfläche des Halbleiterkörpers (1) von einer transparenten 35 Umhüllung (15) umgeben ist und bei dem auf der transparent-

ten Umhüllung (15) die Lumineszenzkonversionsschicht (4) aufgebracht ist.

16. Halbleiterbauelement nach Anspruch 8 oder nach Anspruch 8
5 und einem der Ansprüche 10 bis 14, bei dem zumindest auf einem Teil der Oberfläche des Halbleiterkörpers (1) die Lumineszenzkonversionsschicht (4) aufgebracht ist.

17. Halbleiterbauelement nach Anspruch 8 oder nach Anspruch 8
10 und einem der Ansprüche 10 bis 14, bei dem der Halbleiterkörper (1) in einer Ausnehmung (9) eines Grundgehäuses (8) angeordnet ist und bei dem die Ausnehmung (9) mit einer eine Lumineszenzkonversionsschicht (4) aufweisenden Abdeckschicht (17) abgedeckt ist.

15
18. Halbleiterbauelement einem der Ansprüche 1 bis 17, bei dem der Halbleiterkörper (1) in einer Ausnehmung (9) eines Grundgehäuses (8) angeordnet ist und bei dem die Ausnehmung (9) zumindest teilweise mit einem Lumineszenzkonversionselement (4,5)
20 gefüllt ist.

19. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 18, bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) mehrere Schichten mit unterschiedlichen Wellenlängenkonversionseigenschaften aufweist.
25

20. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 19, bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) zusätzlich organische Farbstoffmoleküle aufweist.
30

21. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 20, bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) eine Epoxidharz-Matrix, eine Kunststoffmatrix, insbesondere aus Silikon-, Thermoplast- oder Duroplastmaterial oder eine Polymethylmetacrylat-Marix aufweist.
35

ZU · U · V · W ·

22. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 20, bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) zumindest teilweise aus einem UV- und temperaturstabilen anorganischen Material besteht.

23. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 22, bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) zusätzlich organische Farbstoffmoleküle ohne Wellenlängenkonversionswirkung aufweist.

24. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 23, bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) und/oder ggf. die transparente Umhüllung (10,15) lichtstreuende Partikel aufweist.

25. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 24, bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) zusätzlich mit einem oder mehreren lumineszierenden 4f-metallorganischen Verbindungen versehen ist.

26. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, bei dem der anorganische Leuchtstoff (6) unmittelbar auf dem Halbleiterkörper (1) aufgebracht ist.

27. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 26, bei dem der Halbleiterkörper (1) ein UV-Strahlung emittierender Leuchtdioden- oder Laserdiodenchip ist.

28. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 27, bei dem das Lumineszenzkonversionselement (4,5) und/oder ggf. die transparente Umhüllung (10,15) mit mindestens einem im Blauen lumineszierenden Lumineszenzfarbstoff versehen ist.

DEUTSCHE
PATENT- UND
MARKEN-
AMMEN

29. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 28, bei dem nur ein einziger Strahlung aussendender Halbleiterkörper (1) vorgesehen ist.
- 5 30. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 19 oder 22 bis 28, bei dem sämtliche Komponenten aus UV- und temperaturstabilen anorganischen Materialien hergestellt sind.
- 10 31. Verwendung einer Mehrzahl von Halbleiterbauelementen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30 in einer vollfarbtauglichen LED-Anzeigevorrichtung.
- 15 32. Verwendung einer Mehrzahl von Halbleiterbauelementen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30 zur Beleuchtung von Flugzeugkabinen.
33. Verwendung eines Halbleiterbauelements gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30 zur Beleuchtung von Anzeigevorrichtungen, insbesondere zur Beleuchtung von Flüssigkristallanzeigen.

FIG 1

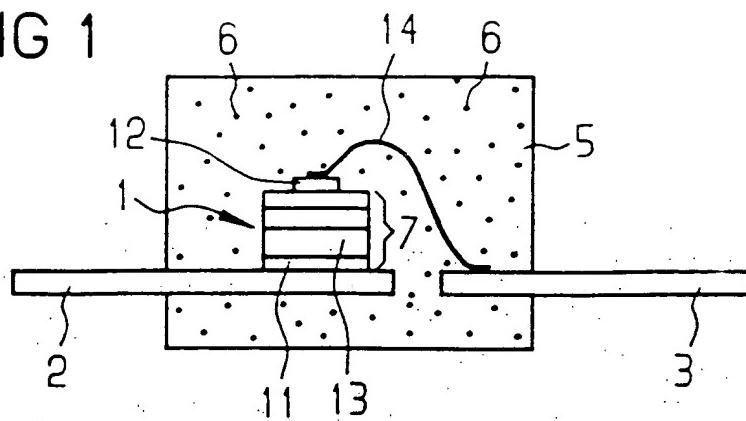


FIG 2

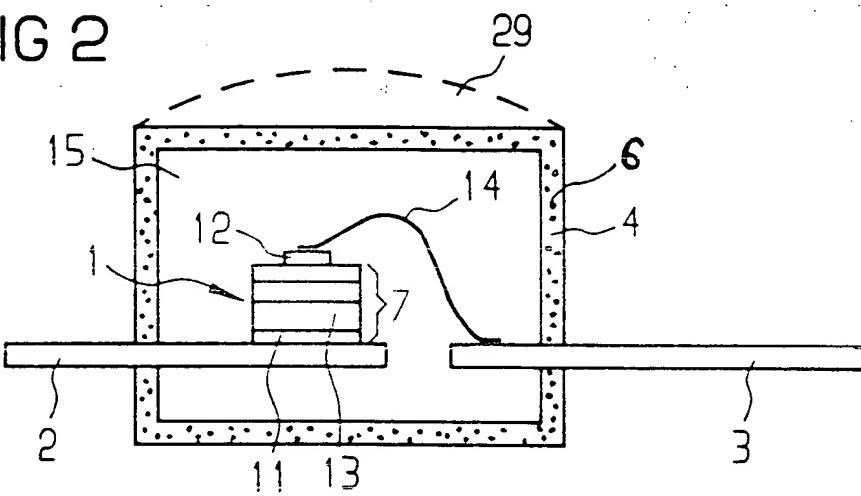
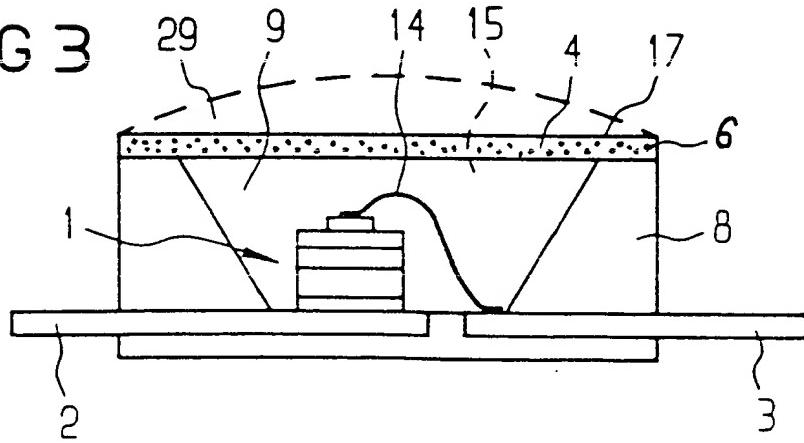


FIG 3



201-194-96

2/5

FIG 4

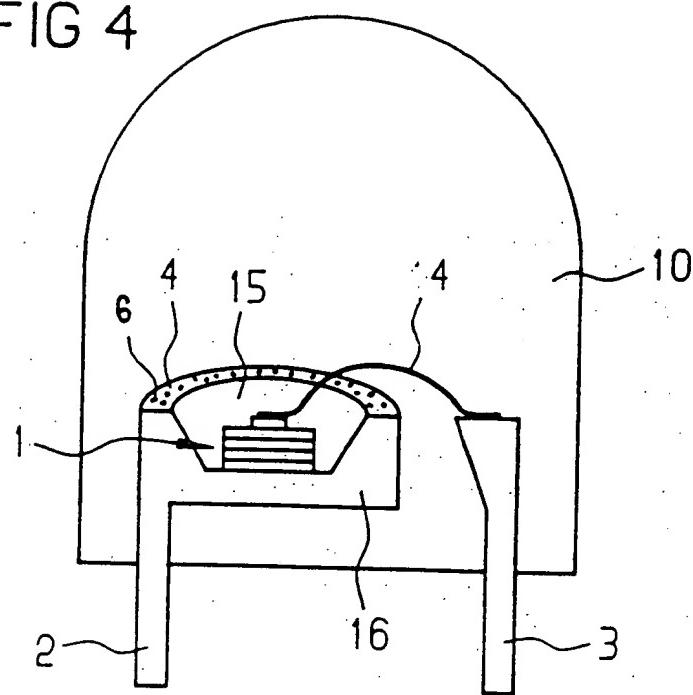


FIG 5

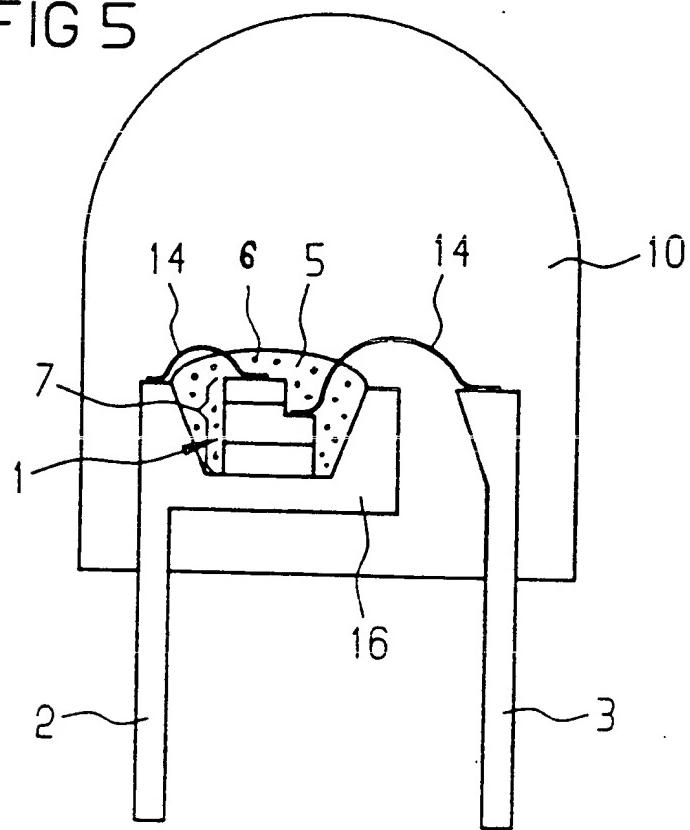


FIG 6

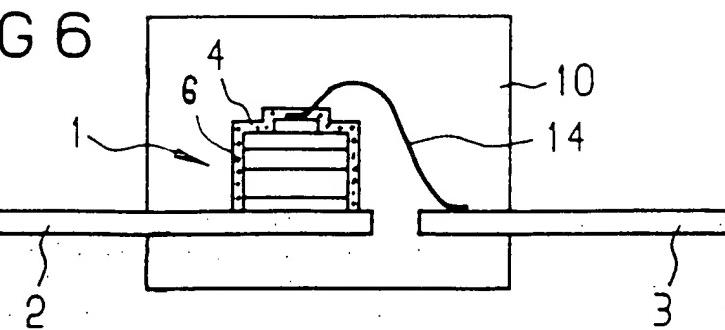


FIG 9

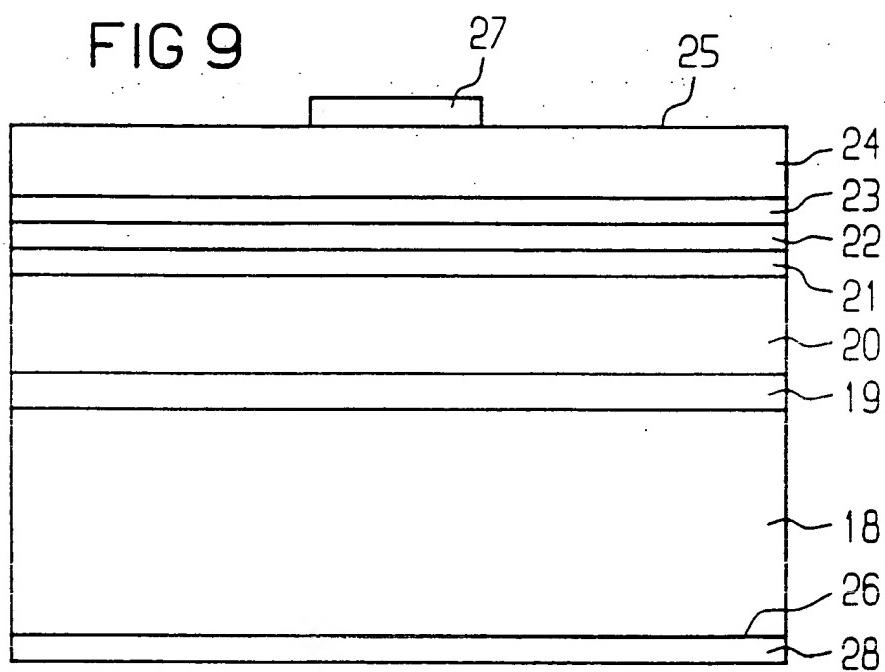
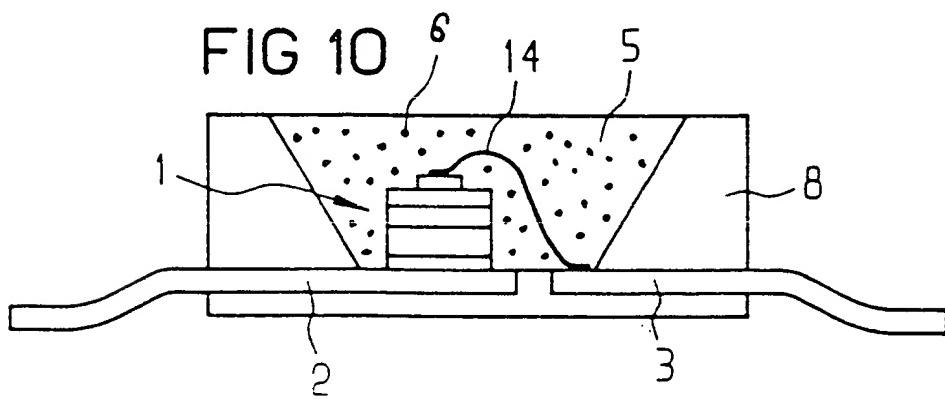


FIG 10



2010/09/20

54

Fig. 11

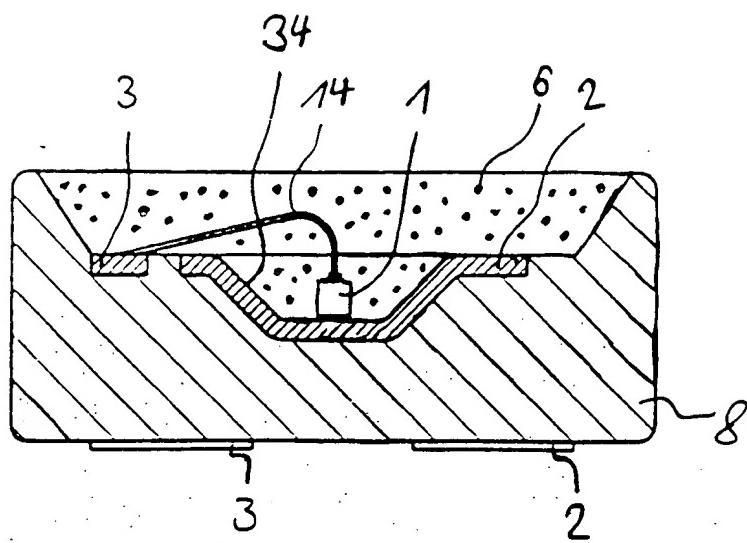
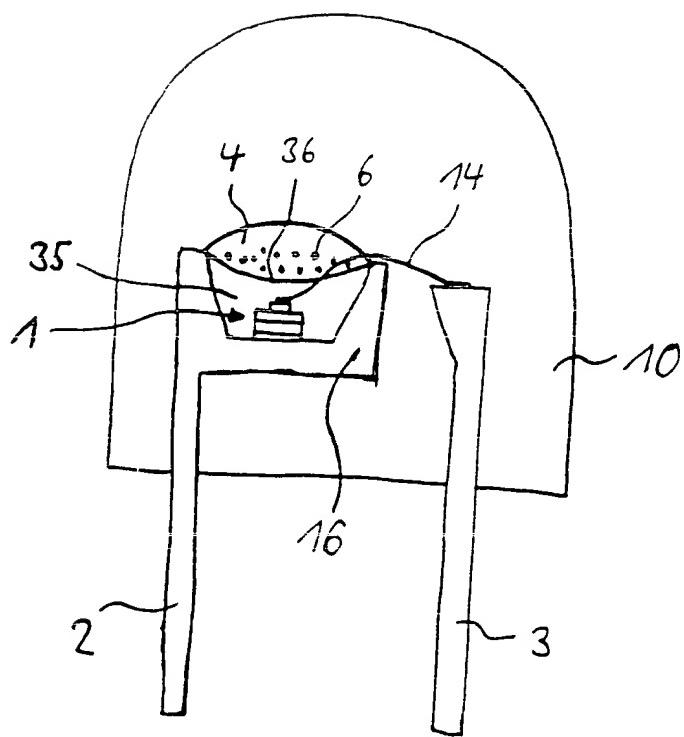


Fig. 12



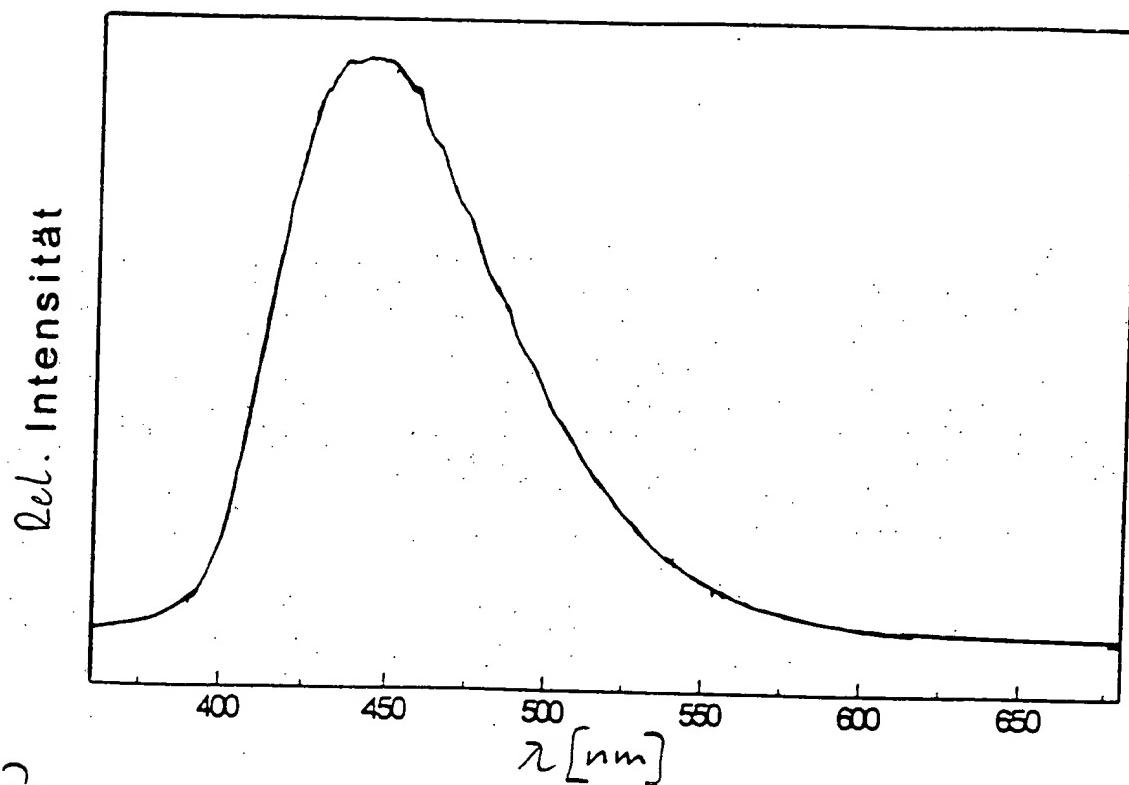


Fig. 7

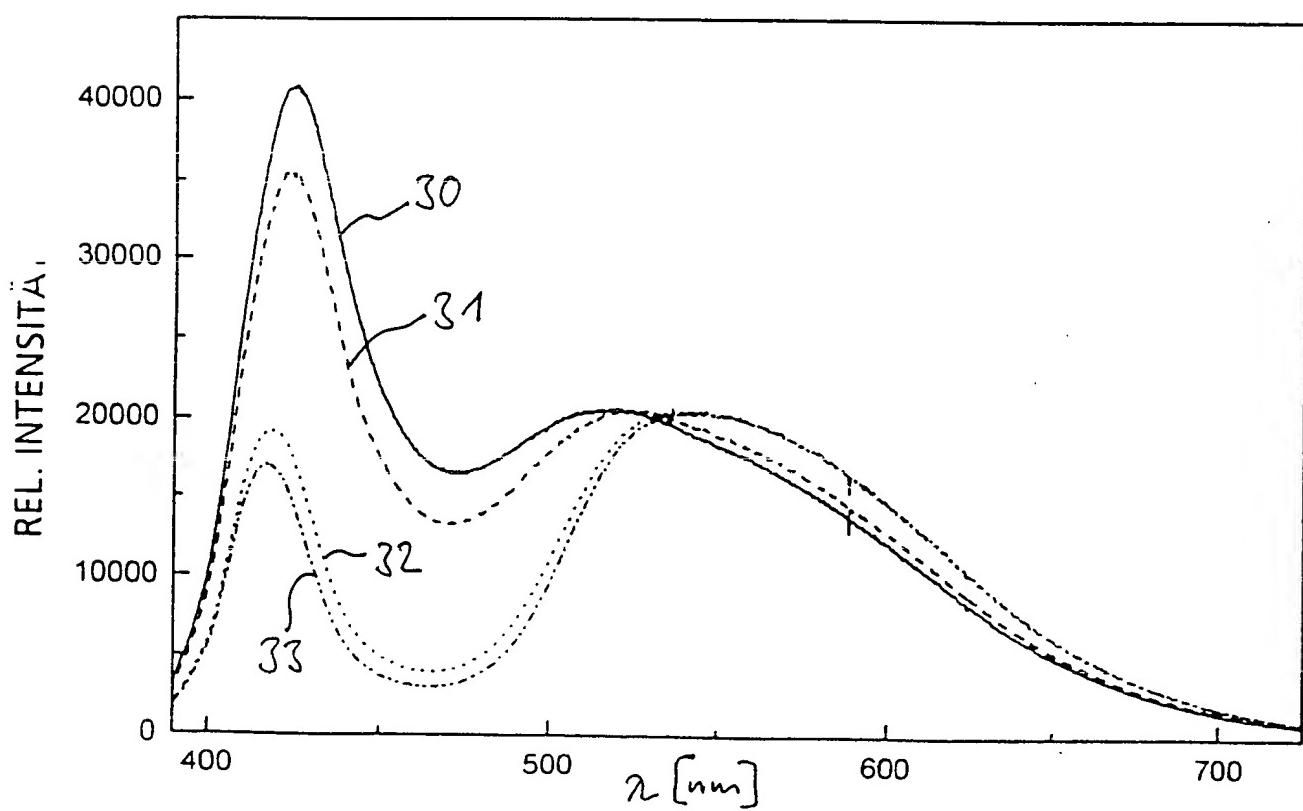


Fig. 8